

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



PROYECTO FIN DE CARRERA

Ingeniera Técnica Industrial:
Electrónica industrial

CONTROL DE HERRAMIENTA DE MECANIZADO
DE UN ROBOT ABB MEDIANTE EL
SENSOR DE FUERZA AFD70-1

AUTOR: Jaime Fernández Sánchez

TUTOR: Concepción Alicia Monje Micharet

DIRECTOR: Santiago Martínez de la Casa Díaz

ABRIL 2012

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer especialmente a mis padres Jaime Fernández y M^a Mercedes Sánchez, el haberme animado a emprender este largo camino que concluye con el presente Proyecto Fin de Carrera. Sin su apoyo y motivación incondicional, nunca hubiera sido posible llegar hasta aquí.

A mi tutora Concha, ha sido un placer realizar durante estos meses este Proyecto contigo. Gracias por contestarme con la mayor rapidez posible a todas mis dudas, animarme en los momentos difíciles y por estar siempre dispuesta a ayudarme.

A Santiago Martínez, director del Proyecto, quiero agradecerte que me hayas guiado durante la ejecución de este proyecto, y que hayas escuchado mis dudas cuando lo he necesitado.

A Fernando San Deogracias, Técnico de Laboratorio, quiero agradecerte tanto el soporte para la compra del material necesitado, como que hayas atendido mis dudas, sin olvidar tus consejos, gracias.

A todos mis amigos con los que siempre he estado tan unido, por los buenos momentos que hemos pasado, y por la fuerza y ánimos que me han regalado sin esperar nada a cambio.

No podría terminar este apartado sin mencionar a varios compañeros, Daniel Del Olmo e Igor de Miguel, que me han facilitado mucho el trabajo con sus conocimientos y con su apoyo mientras realizaba este Proyecto Fin de carrera. Gracias a vosotros también.

Finalmente agradecerle a toda mi familia que siempre hayan estado en los momentos buenos y malos desde que empecé la carrera hasta hoy.

Gracias a todos
Jaime Fernández Sánchez

RESUMEN

Este Proyecto Fin de Carrera se basa en el control y monitorización de una herramienta de mecanizado, instalada en un robot ABB 2400/16, mediante el sensor de fuerza ADF70-1.

La célula de trabajo utilizada está formada por un robot ABB 2400/16 y la herramienta de mecanizado, que esta compuesta por el sensor de fuerza ADF70-1 y el servo motor Sm3002 al que se encuentra acoplado.

La herramienta de mecanizado está situada en un porta-herramientas, y puede ser acoplada al robot mediante un sistema de cambio automático de herramienta.

Con la consecución de este proyecto dotaremos al robot de las herramientas necesarias para modificar su trayectoria en función de la fuerza ejercida sobre el sensor de fuerza, permitiendo al robot aplicar una fuerza constante predefinida por el usuario con anterioridad o durante la ejecución de una tarea de mecanizado, independientemente de la trayectoria o de la dureza de los materiales a mecanizar.

SUMMARY:

This Thesis is based on the control and monitoring of a machining tool, installed in an ABB robot 2400/16, by the ADF70-1 force sensor.

The work station used is formed by an ABB robot 2400/16 and a machining tool, composed by the ADF70-1 force sensor and the Sm3002 servo motor, which is coupled. Machining tool is located in a tool holder and can be attached to the robot through an automatic tool change system.

With the achievement of this project we will endow the robot with the necessary tools to modify its trajectory as a function of the force exerted on the force sensor, allowing the robot applies a constant force predefined by the user in advance or during the execution, regardless the trajectory or hardness of the materials to be machining.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
SUMMARY:.....	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	13
1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	16
1.2. OBJETIVOS	17
1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	18
2 ESTADO DEL ARTE EN PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO	19
2.1. ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN	20
2.1.1. Ideas generales	20
2.1.2. Tipos de automatización industrial	21
2.1.3. Necesidad de un sistema robotizado	22
2.2. ROBOT INDUSTRIAL	24
2.2.1. Definición de robot industrial	24
2.2.2. Historia y evolución de los robot industriales	26
2.2.3. Clasificación de los robot industriales.....	28
2.2.4. Características generales y justificación del uso de robot industriales.....	31
2.2.5. Procesos robotizados.....	35
2.2.5.1. Operaciones industriales de mecanización.....	36
2.3. PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO.....	39
2.3.1. Concepto.....	39
2.3.2. Aplicaciones	41
3 DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA	48
3.1. ROBOT IRB2400/16 DE ABB.....	49
3.1.1. Introducción	49
3.1.2. Instalación	52

3.1.3.	<i>Diagrama de carga.....</i>	53
3.1.4.	<i>Montaje de equipos.....</i>	54
3.1.5.	<i>Movimientos y alcance del robot.....</i>	56
3.1.6.	<i>Mantenimiento.....</i>	57
3.1.7.	<i>Controlador IRC5.....</i>	58
3.1.8.	<i>Flexpendant.....</i>	61
3.1.8.1.	Barra de estado	63
3.1.8.2.	Menú de configuración rápida.....	63
3.1.8.3.	Menú ABB	64
3.1.9.	<i>Robotstudio.....</i>	65
3.2.	HERRAMIENTA	69
3.2.1.	<i>Herramienta de mecanizado.....</i>	69
3.2.1.1.	Servo Motor SM3002.....	70
3.2.1.2.	Sensor de Fuerza ADF70-1	77
3.3.	SISTEMAS AUXILIARES.....	88
3.3.1.	<i>Componentes eléctricos.....</i>	88
3.3.2.	<i>Componentes neumáticos e hidráulicos</i>	93
4	DISEÑO E IMPLEMETACIÓN DE LA APLICACIÓN	98
4.1.	DISEÑO HARDWARE	99
4.1.1.	<i>Diseños realizados para el área del sistema robótico</i>	99
4.1.1.1.	Herramienta de mecanizado	99
4.1.2.	<i>Diseños realizados para verificar el funcionamiento del control de la herramienta de mecanizado.....</i>	115
4.2.	DISEÑO SOFTWARE	117
4.2.1.	<i>Herramientas software</i>	117
4.2.1.1.	RobotWare	117
4.2.1.2.	RAPID	118
4.2.1.3.	RobotStudio.....	119
4.2.1.4.	Robot Application Builder	120
4.2.1.5.	Microsoft Visual C# 2008.....	121
4.2.2.	<i>Modificación de la interfaz de usuario.....</i>	122
4.2.2.1.	Interfaz principal	122
4.2.2.2.	Interfaz de Cambio de Herramienta	123

4.2.2.3. Obtención y actualización del valor de las señales	124
5 PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	126
5.1. PUESTA EN MARCHA DE LOS ELEMENTOS HARDWARE.....	127
5.1.1. Diseños realizados para el área del sistema robótico	127
5.1.2. Puesta en marcha del circuito eléctrico completo	129
5.2. PUESTA EN MARCHA DE LOS ELEMENTOS SOFTWARE	133
5.2.1. Robot ABB 2400/16.....	133
5.2.2. Interfaz de cambio de herramienta.....	135
5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	137
6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	141
6.1. CONCLUSIONES.....	142
6.1.1. Conclusiones sobre hardware	143
6.1.2. Conclusiones sobre software	144
6.2. TRABAJOS FUTUROS.....	145
7 PRESUPUESTO.....	147
8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	150
9 ANEXOS.....	153
8.1. PROGRAMAS RAPID PARA EL ROBOT	154
8.2. PROGRAMAS DE WINDOWS FORMS	156
8.2.1. Formulario Sensor (Interfaz Sensor de Fuerza)	156
8.3. DATOS SEÑAL DEL SENSOR AFD70-1.	174
8.4. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES.	185

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE EN PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO

- Figura 1-1 Diferentes tipos de robots articulados.
- Figura 1-2 Robot industrial tipo PUMA y Famulus
- Figura 1-2 Clasificación de robots industriales por su estructura mecánica
- Figura 1-3 Delimitaciones del área de trabajo de un robot
- Figura 1-4 Robot genérico articulado de 6 GDL
- Figura 1-5 Comportamiento de un robot respecto a la frecuencia
- Figura 1-7 Diferentes procesos de soldadura mediante robots
- Figura 1-8 Robots pintando la carrocería de un automóvil
- Figura 1-9 Robot puliendo (izquierda). Robot desbarbando piezas (derecha)
- Figura 1-10 Fresado para la obtención de un molde
- Figura 1-11 Ejemplo de funcionamiento de fresado mediante robot
- Figura 1-12 Desbarbado de una llanta para automóvil (izquierda) y desbarbado de cremalleras de aluminio y alojamiento para piñones (derecha)
- Figura 1-13 Taladrado de un molde de neumáticos
- Figura 1-14 Lijado del guardabarros de una moto
- Figura 1-15 Pulido de un alerón para automóvil
- Figura 1-16 Lijado de la parte trasera del chasis de un coche

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA

- Figura 3-1 Robot IRB2400-16 y su controlador IRC5.
- Figura 3-2 Dimensiones del robot
- Figura 3-3 Elementos de fijación del robot
- Figura 3-4 Diagrama de carga del robot
- Figura 3-5 Montaje de equipos adicionales del robot
- Figura 3-6 Sistema de fijación de la muñeca del robot
- Figura 3-7 Ejes del robot
- Figura 3-8 Rango de trabajo del robot
- Figura 3-9 Panel de control del IRC5
- Figura 3-10 FlexPendant
- Figura 3-11 Barra de estado de FlexPendant

- Figura 3-12 Menú de configuración rápida de FlexPendant
- Figura 3-13 Menú de ABB en FlexPendant
- Figura 3-14 Robotstudio 5.13
- Figura 3-15 Herramienta de mecanizado
- Figura 3-16 Características del SM3002
- Figura 3-17 Control Trapezoidal
- Figura 3-18 Cálculo del vector de corriente del estator
- Figura 3-19 Dimensiones de montaje del SM3002
- Figura 3-20 Configuración perpendicular, de ejes cruzados y de ejes paralelos
- Figura 3-21 Conectores SM3002
- Figura 3-22 Boquilla del SM3002
- Figura 3-23 Cambio de boquilla del SM3002
- Figura 3-24 Conexiones externas del SM3002
- Figura 3-25 Diferentes configuraciones del AFD70-1
- Figura 3-26 Características del AFD70-1
- Figura 3-27 Diseño de la montura del sensor AFD70-1
- Figura 3-28 Diseño de la brida estándar del sensor AFD70-1
- Figura 3-29 Carga rodamientos del sensor AFD70
- Figura 3-30 Conexiones de la señal lineal del potenciómetro
- Figura 3-31 Angulo para el control de fuerza
- Figura 3-32 Configuración neumática
- Figura 3-33 Conexiones de aire del sensor AFD70
- Figura 3-34 Interruptor automático.
- Figura 3-35 Relé40.31 Finder enchufable
- Figura 3-36 Características del DAC KR- 12BIN/10-0 de Krenel.
- Figura 3-37 Conversor analógico digital 787-503 de Wago
- Figura 3-38 Controlador B30A40AC.
- Figura 3-39 Válvulas neumáticas.
- Figura 3-40 Bombas de vacío.
- Figura 3-41 Interruptor de presión.
- Figura 3-42 Regulador de presión.
- Figura 3-43 CoolMate 3

CAPÍTULO 4: DISEÑO E IMPLMETACIÓN DE LA APLICACIÓN

- Figura 4-1 Anclaje de la herramienta de mecanizado
- Figura 4-2 Esquema de conexionado del sensor de fuerza AFD70-1.
- Figura 4-3 Conectores de la Herramienta de mecanizado
- Figura 4-4 Conexionado de la herramienta de mecanizado
- Figura 4-5 Configuración del ADC
- Figura 4-6 Conexión del potenciómetro del sensor AFD70-1
- Figura 4-7 Funcionamiento del ADC
- Figura 4-8 Esquema conexión neumática AFD70-1
- Figura 4-9 Circuito neumático, suministro-regulador-sensor
- Figura 4-10 Elementos de la herramienta de mecanizado
- Figura 4-11 Esquema modulo E/S digital.
- Figura 4-12 Perfil de madera
- Figura 4-13 Rueda pivotante
- Figura 4-14 Croquis de la rueda pivotante
- Figura 4-15 Estructura de una aplicación RAPID.
- Figura 4-16 Interfaz de RobotStudio 5.13.
- Figura 4-17 Entorno de desarrollo de Visual C# 2008
- Figura 4-18 Interfaz principal de la aplicación.
- Figura 4-19 Interfaz de Cambio de Herramienta.
- Figura 4-20 Ventana de posición del Sensor.

CAPÍTULO 5: PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Figura 5-1 Conexión conversor ADC.
- Figura 5-2 Conexionado conversor ADC.
- Figura 5-3 Divisor de corriente
- Figura 5-4 Esquema conexión aplicación
- Figura 5-5 Secuencia de ejecución de trayectoria
- Figura 5-6 Esquema de ejecución de trayectoria
- Figura 5-7 Error de reconocimiento de la variable conversor.
- Figura 5-8 Señal de salida del sensor AFD70-1

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE EN PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO

Tabla 2-1 Clasificación de robots según la AFRI

Tabla 2-2 Clasificación de robots por generaciones

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA

Tabla 3-1 Movimientos del robot

Tabla 3-2 Panel de control del IRC5

Tabla 3-3 Elementos de la FlexPendant

Tabla 3-4 Rango de funcionamiento del controlador analógico.

Tabla 3-5 Características válvulas.

Tabla 3-6 Características bombas de vacío.

Tabla 3-7 Características interruptor de presión

Tabla 3-8 Características regulador de presión.

Tabla 3-9 Características sistema refrigerador.

CAPÍTULO 4: DISEÑO E IMPLEMETACIÓN DE LA APLICACIÓN

Tabla 4-1 Colores cable señales herramienta de mecanizado

Tabla 4-2 Función de las salidas digitales

Tabla 4-3 Función de las Entradas digitales

Tabla 4-4 Dimensiones de la rueda pivotante

CAPÍTULO 5: PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 5-1 Conexiones caja negra / color cable herramienta de mecanizado

Tabla 5-2 Conexiones señales bus IRC5-IRB2400

Tabla 5-3 Conexiones Conector R6 auxiliar

Tabla 5-3 Conexiones Salida A/D con entrada X3

Tabla 5-4 Variación de la señal de salida del sensor ADF70-1

Tabla 5-5 Señal de salida del sensor ADF70-1

CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO

Tabla 7-1 Costes de personal

Tabla 7-2 Costes de adquisición de componentes

Tabla 7-3 Resumen de costes



1 INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del proyecto

Este Proyecto Fin de Carrera se basa en el control y monitorización de una herramienta de mecanizado, instalada en un robot ABB 2400/16, mediante el sensor de fuerza ADF70-1, acoplado a un servo motor tipo brushless Sm3002, ambos suministrados por Pushcorp.

La célula de trabajo utilizada está formada por un robot ABB 2400/16 y la herramienta de mecanizado, compuesta por el sensor de fuerza ADF70-1 y el servo motor Sm3002. Ésta está situada en un porta-herramientas y puede ser acoplada al robot mediante un sistema de cambio automático de herramienta.

Tanto la instalación como la puesta en marcha en el robot de la herramienta de mecanizado fueron llevadas a cabo por José Álvarez Paramio y Daniel Del Olmo Acebes mediante la realización del PFC *“Diseño y puesta en marcha de una célula de fabricación flexible y robotizada”* [1].

Por otro lado el control automático del cambio de herramienta fue abordado por David Torremocha Ruano en su PFC *“Realización de una interfaz grafica para el cambio de herramientas en un robot ABB”* [2]. Dicha interfaz se actualizara, para ajustarse a los requisitos de este proyecto, proporcionándonos el desplazamiento de la herramienta a tiempo real.

El AFD70-1 es un dispositivo pasivo de fuerza que requiere del suministro de aire a 5.5 bares de presión al actuador neumático, lo que se traduce en una fuerza de salida de 245N, en la caso de aplicarse sobre la herramienta una fuerza mayor a la suma de esta y la del peso de la herramienta, se produciría el desplazamiento de la herramienta sobre su eje, siendo el máximo desplazamiento permitido de 20mm. Mediante su análisis podemos conocer tanto el desplazamiento como la presión que se esta ejerciendo sobre la herramienta y así ajustarlo a los requerimientos de nuestra tarea.

De esta manera dotamos por un lado al robot de la posibilidad de toma de decisiones durante la ejecución de una tarea, y por otro, proporcionamos la información necesaria para el control y análisis de la tarea en ejecución.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto de fin de carrera es el control y monitorización de una herramienta de mecanizado, instalada en un robot ABB 2400/16 mediante el sensor de fuerza ADF70-1.

El control de la herramienta mediante el sensor de fuerza ADF70-1, se realiza a través del análisis de la señal de salida, la cual varía en función de la fuerza aplicada sobre la herramienta de mecanizado, incrementándose la corriente de salida con el desplazamiento de la herramienta, ésta se convertirá y adecuara para ser procesada por el robot ABB.

Una vez realizado el control de la herramienta, se implementará en la aplicación desarrollada por David Torremocha Ruano en [2] la información obtenida del sensor de fuerza, permitiendo la visualización por pantalla, en tiempo real, del desplazamiento de la herramienta.

El objetivo final de este proyecto es dotar al robot de las herramientas necesarias para modificar su trayectoria, en función de la fuerza ejercida sobre el sensor de fuerza ADF70-1. De esta manera podemos regular la fuerza aplicada sobre la herramienta y ajustarla a un valor predefinido por el usuario con anterioridad o durante la ejecución de una tarea de mecanizado, independientemente de la trayectoria o de la dureza de los materiales a mecanizar.

Para verificar la consecución de los objetivos descritos con anterioridad, se programará el robot para recorrer una trayectoria irregular, en la que el robot modificará su posición automáticamente en función de la lectura de los valores del sensor en tiempo real, para ajustarse a un desplazamiento de la herramienta predefinido, o lo que es lo mismo, se aplicara una fuerza constante y prefijada a la herramienta durante todo la trayectoria.

1.3. Estructura del proyecto

El proyecto se divide en nueve capítulos, los cuales se citan a continuación:

El capítulo 1 comienza con una breve descripción del proyecto y se muestran los objetivos principales y secundarios a llevar a cabo mediante la realización de este Proyecto Fin de Carrera, así como, la estructura del mismo.

El capítulo 2 se realiza una pequeña reseña de la evolución de los robots mediante la historia del arte, en la cual por un lado podemos situar en el tiempo nuestro robot, y por otro compararlo con los competidores, así como, observar los procesos de mecanizados que realizan los mismos, y para los podría ser capaz de realizar el robot de nuestra célula de trabajo, tras la finalización de este proyecto.

El capítulo 3 describe la célula robotizada, en el desarrollo de este capítulo se expondrán los elementos que componen la célula robotizada y sus características.

El capítulo 4 se describe los procesos necesarios para la implementación y el desarrollo de la aplicación para el control y monitorización de la herramienta de mecanizado, tanto a nivel software como hardware.

El capítulo 5 presentará la puesta en marcha de la aplicación, tanto a nivel hardware como software y se procederá a realizar el análisis de los resultados obtenidos, mediante los cuales se podrá verificar el correcto funcionamiento de la aplicación.

El capítulo 6 expondrá las conclusiones obtenidas con la realización y la consecución de los objetivos marcados en este proyecto final de carrera, así como los trabajos futuros que podrían realizarse para mejorar la aplicación.

El capítulo 7 se mostrará el presupuesto de este proyecto final de carrera y las bibliografías y referencias que nos han servido de apoyo se mostraran en el capítulo 8.

Al final de esta memoria se pueden encontrar los anexos con el datasheet de los componentes y los formularios software de la aplicación diseñada.



2 ESTADO DEL ARTE EN PROCESOS ROBOTIZADOS DE MECANIZADO

2.1. Robótica y automatización

2.1.1. Ideas generales

Robótica y automatización [1,3,4] son disciplinas surgidas en diferentes épocas. La automatización consigue un proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir la mano de obra y simplificar el trabajo. De esta forma algunas maquinas realizan las operaciones de manera automática; lo que conlleva un proceso más rápido y eficiente. La robótica nace en décadas recientes para complementarse con la automatización, aportándole como elemento innovador cierto grado de inteligencia.

Con la automatización, al darse una mayor eficiencia, se logra disminuir la producción de piezas defectuosas, y por tanto aumentar una mayor calidad en los productos que se logran mediante la exactitud de las maquinas automatizadas. Todo esto ayuda a que la empresa industrial aumente toda su competitividad en un porcentaje considerable mediante la utilización de inversiones tecnológicas. De no realizarse, la empresa puede sufrir el riesgo de quedarse rezagada con respecto a toda su competencia.

El principal papel de los robots es articular diferentes máquinas y funciones productivas: transporte, manejo de materiales, maquinado, carga y descarga, etc. mediante su capacidad para desempeñar diversas tareas u operaciones. El robot industrial es el elemento más visible de la fabricación asistida por computador y como la base técnica para la mayor automatización de la producción. El desarrollo de los robots está estrechamente relacionado con el de las otras tecnologías de la automatización comprendidas por el concepto CAD-CAM (manufactura y diseño asistido por computador). El robot industrial contribuye de manera decisiva a la automatización en los procesos de fabricación de series de mediana y pequeña escala y de lotes variados y/o discontinuos.

La robótica es un área interdisciplinaria formada por la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y sistemas computacionales. Este concepto de unión de estas disciplinas se entiende como mecatrónica.

La mecánica comprende tres aspectos: diseño mecánico de la máquina, análisis estático y análisis dinámico. La microelectrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos requeridos por la tarea. La informática provee de los programas necesarios para lograr el control y coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva. También se puede dotar al robot de un cierto grado de sonorización o y percepción del exterior.

2.1.2. Tipos de automatización industrial

- **Automatización fija:** Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por lo tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar productos o componentes de éstos con alto rendimiento y elevadas tasas de producción.
- **Programable:** Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso, el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se logra haciendo funcionar el equipo bajo el control de un programa de instrucciones para el producto dado. La producción se obtiene por lotes.
- **Flexible:** Es una categoría situada entre las dos anteriores. Se ha comprobado que es más adecuada para el rango medio de producción. Con este tipo de automatización pueden obtenerse simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación.

2.1.3. Necesidad de un sistema robotizado

Como hemos observado en ciertos ambientes industriales un robot resulta mucho más rentable y productivo que otras posibles medidas. A continuación se hará un análisis de la necesidad de instalación de un robot y los aspectos a considerar en su factibilidad, para ello, se deben plantear una serie de cuestiones:

¿Cuál es la producción anual de piezas? Cuando se deben producir elementos variados, estos deben ser de características similares y la producción de cada lote como mínimo debe ocupar un período de tiempo razonable.

¿Puede haber un buen abastecimiento? Para la obtención de un correcto flujo automático de material se deben almacenar piezas antes y después del grupo de máquinas y robots además de un buen suministro. El tamaño del almacén depende de la tasa de producción.

¿Cuál es el tiempo disponible para manipulación? El tiempo de maniobra requerido está determinado por la longitud total del camino y por la máxima velocidad del robot. La mayoría de los robots neumáticos tienen velocidades máximas aproximadas a los 1.5 metros por segundo y desplazamientos angulares de 150° por segundo. Se puede calcular el tiempo anual de manipulación y compararlo con la producción total en ese mismo período.

¿Puede un nuevo esquema (layout) del sistema dar cabida al Robot? Esta cuestión se refiere a la flexibilidad y a la capacidad de integración de un robot ante eventuales cambios puntuales o de concepción en el sistema de fabricación. Por ejemplo muchos layouts (estructuración del sistema) requieren versiones especiales de robots con grados de libertad adicionales demandadas por el proceso.

¿Accesibilidad? Dentro del layout del sistema se debe tener en cuenta la totalidad de movimientos que realiza el robot. De esta forma se sabe si dichos movimientos se pueden realizar. Posibles problemas pueden ser: límites de alcance, configuraciones de ejes no validas o posibles interferencias con el medio externo.

¿Qué dotación de personal de operación y supervisión es necesaria? La implementación de un Robot en un proceso productivo, tiene como objetivo fundamental disminuir los costos de producción mediante un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva ya instalada. Aun así se debe realizar un control de calidad. Cada vez se tiende más a estos controles mediante herramientas por computador, como la visión artificial. Sin embargo todavía se continúa realizando en muchos casos la inspección del desarrollo productivo de forma visual.

¿Es posible realizar la inversión? Cualquier proceso industrial busca una máxima rentabilidad además de otra serie de valores. Para saber dicha eficacia se tienen que tener en cuenta los costos de implementación y sus beneficios:

Costo de Implementación:

- Herramientas del extremo.
- Posible modificación de la máquina o máquina-herramienta y herramientas.
- Posible alteración del layout existente.
- Equipos periféricos, transportadores, zonas de almacenamiento.
- Dispositivos de fijación y señalización.
- Costo del trabajo de instalación.
- Entrenamiento del personal para operación y mantenimiento.
- Puesta en marcha y puesta a punto.

Beneficios

- Reducción de la labor.
- Incremento de utilización de las máquinas.
- Flexibilidad productiva.
- Incremento de la calidad.
- Disminución de pasos en el proceso de producción.
- Mejora de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales.
- Mayor productividad.
- Ahorro de materia prima y energía.
- Flexibilidad total.
- Calidad de trabajo humano:
- Seguridad: trabajos peligrosos e insalubres.
- Comodidad: trabajos repetitivos, monótonos y en posiciones forzadas.

2.2. Robot industrial

En este subcapítulo se trata de dar una visión de qué es lo que se entiende por robot industrial y de sus características principales [1,5,6,7,8,9,10,11,12].

2.2.1. Definición de robot industrial

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre el mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y lo que es un manipulador. Así, mientras que para los japoneses un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación, el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control. En segundo lugar, y centrándose ya en el concepto occidental, aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es fácil ponerse de acuerdo a la hora de establecer una definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición más comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias Robóticas (**RIA**), según la cual:

- Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (**ISO**) que define al robot industrial como:

- Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (**AFNOR**), que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

- **Manipulador:** mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

- **Robot:** manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente, como podemos ver en la figura 2-1.



Figura 2-1 Diferentes tipos de robots articulados

2.2.2. Historia y evolución de los robot industriales

El campo de la robótica industrial puede definirse como el estudio, diseño y uso de robots para la ejecución de procesos industriales. Más formalmente, el estándar ISO define un robot industrial como un manipulador programable en tres o más ejes multipropósito, controlado automáticamente y reprogramable. Este concepto no está demasiado consolidado y ha estado supeditado a la continua evolución de los procesos automatizados y por consiguiente de las funcionalidades y características de los mismos robots. A continuación se muestra un ligero resumen de su evolución en el tiempo:

George Devol [13] fue el primero en aplicar patentes robóticas en 1954. La primera empresa en producir un robot fue Unimation, fundada por el propio George Devol junto con Joseph F. Engelberger en 1956, y basada en las patentes originales de Devol. El principal uso de Unimation para sus robots fue inicialmente la transferencia de objetos de un punto a otro, a una docena de pies o menos de separación. Estos primeros robots utilizaban actuadores hidráulicos y fueron programadas mediante conjunto de coordenadas, es decir, los ángulos de las distintas articulaciones se almacenaron durante una fase de la enseñanza y luego se conseguía su reproducción en funcionamiento. Tenían una precisión de 10 milésimas de pulgada.

Las tecnologías de Unimation quedaron más tarde bajo licencia de Kawasaki Heavy Industries y Guest-Nettelfolds, empresas de Unimation para la fabricación en Japón e Inglaterra, respectivamente. Desde hacía algún tiempo Unimation tuvo un competidor único, que fue Cincinnati Milacron Inc, de Ohio. Esto cambió radicalmente en la década de 1970 cuando varios grandes conglomerados japoneses comenzaron a producir robots industriales similares.

En 1969, Víctor Scheinman en la Universidad de Stamford inventó el brazo Stamford, un sistema totalmente eléctrico, de 6 ejes articulados diseñado para permitir una respuesta de brazo humano. Esto le permitía seguir con precisión y de forma arbitraria trayectorias en el espacio y ampliar el uso potencial de los robots más sofisticados para aplicaciones como montaje y soldadura. Scheinman entonces diseñó un segundo brazo para el Laboratorio de IA del MIT, llamado el "MIT brazo".

Scheinman, después de recibir una beca de Unimation para desarrollar sus diseños, vendió sus modelos a Unimation, que a su vez recibía apoyo de General Motors. General Motors más tarde comercializó dichos diseños como “Programmable Universal Machine for Assembly”(PUMA). En 1973 KUKA Robótica construyó su primer robot, conocido como FAMULUS, que fue el primer robot articulado de seis ejes electromecánicamente impulsado. Podemos verlos en la figura 2-2.

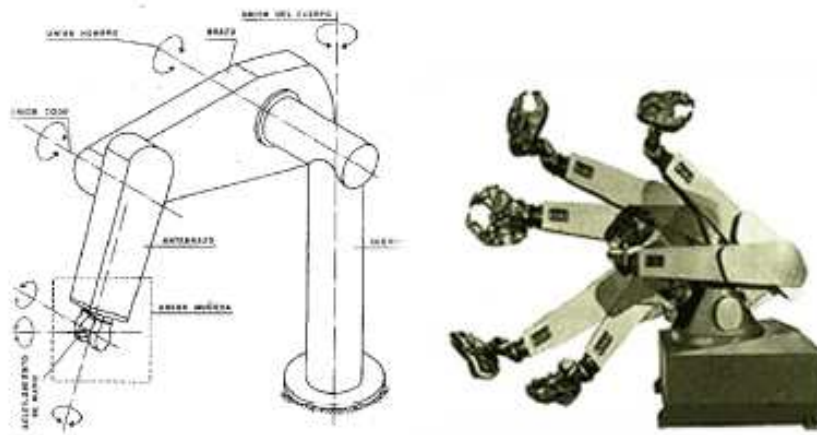


Figura 2-2 Robot industrial tipo PUMA y Famulus

En el interés por la robótica fue en aumento a fines de la década de 1970 y muchas empresas de EE.UU. se introdujeron en el sector, incluidas las grandes empresas como General Electric y General Motors (que formaba la empresa conjunta FANUC Robotics con FANUC LTD de Japón). Como consecuencia del boom de la robótica en 1984, Unimation fue adquirida por Westinghouse Electric Corporation por 107 millones de dólares. Westinghouse a su vez vendió Unimation a la francesa StaubliFaverges SCA en 1988, que todavía siguen haciendo robots articulados para la industria general y aplicaciones “limpias” e incluso compró la división de robótica de Bosch a finales de 2004.

En la actualidad sólo unas pocas empresas no japonesas han logrado sobrevivir en este mercado, las principales son Adept Tecnología, StäubliUnimation-, la empresa sueco-suiza ABB “Asea Brown Boveri” y la empresa alemana KUKA Robotics.

2.2.3. Clasificación de los robot industriales

La maquinaria para la automatización rígida dio paso al robot con el desarrollo de controladores rápidos, basados en el microprocesador, así como un empleo de servos en bucle cerrado, que permiten establecer con exactitud la posición real de los elementos del robot y establecer el error con la posición deseada. Esta evolución ha dado origen a una serie de tipos de robots, según su estructura mecánica, que se citan a continuación y se muestran en la Figura 2-3.

- **Robot cartesiano.** Robot cuyo brazo tiene tres articulaciones prismáticas, cuyos ejes son coincidentes con un coordinador cartesiano.
- **Robot cilíndrico:** Robot cuyos ejes forma un sistema de coordenadas cilíndrico.
- **Robot esférico:** Robot cuyos ejes formas un sistema de coordenadas polares
- **Robot SCARA:** Robot que tiene dos articulaciones paralelas de rotación para proporcionar una situación de conformidad en el plano.
- **Robot articulado:** Robot cuyo brazo tiene al menos tres articulaciones de robot, normalmente tiene 6.
- **Robot paralelo:** Robot cuyos brazos tienen concurrencia prismática.

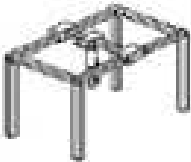
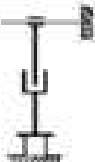


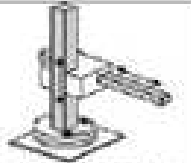



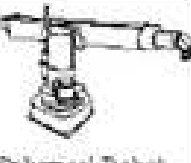















Clasificación de los robots industriales por su estructura mecánica			
Nombre	Estructura cinemática	Espacio de trabajo	Fotografía
 Cartesian Robot			
 Cylindrical Robot			
 Spherical Robot			
 SCARA Robot			
 Articulated Robot			
 Parallel Robot			

Figura 2-3 Clasificación de robots industriales por su estructura mecánica

Un resumen de la clasificación de robots industriales por la capacidad de interacción con el medio externo puede ser la mostrada en la tabla 2-1.

Tabla 2-1 Clasificación de robots según la AFRI

Clasificación de los robots según la AFRI

- | | |
|---------------|--|
| Tipo A | Manipulador con control manual o telemando. |
| Tipo B | Manipulador automático con ciclos pre ajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico. |
| Tipo C | Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno. |
| Tipo D | Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos. |

Los robots como cualquier tipo de mecanismo han sufrido evoluciones técnicas desde sus primeras unidades. De esta forma Otra clasificación puede ser según la generación histórica en la que se encuadren, como se muestra en la tabla 2-2

Tabla 2-2 Clasificación de robots por generaciones

Clasificación de los robots industriales en generaciones

- | | |
|----------------------|---|
| 1ª Generación | Repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno. |
| 2ª Generación | Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia. |
| 3ª Generación | Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural. Posee la capacidad para la planificación automática de sus tareas. |

- **Grados de libertad:** dependiendo de la aplicación puede variar. Por ejemplo 3 en procesos de paletizado y 6 en pintura, soldadura con arco..., un ejemplo de estos se puede ver en la figura 2-5.

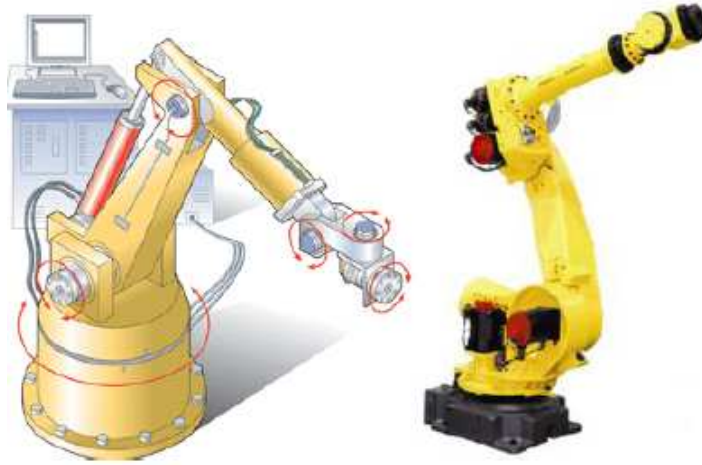


Figura 2-5 Robot genérico articulado de 6 GDL

- **Coste.** Representa el desembolso inicial que debe realizar la empresa para adquirir el robot, los impuestos pagados, costos de mantenimiento preventivo y reparaciones no planteadas. Directamente proporcional a los GDL del robot. Debe ser el menor posible.
- **Capacidad de carga.** Representa el tonelaje que el robot puede levantar en condiciones normales y extremas. Será proporcional a la función que deba desarrollar el robot. Depende del tipo de accionamiento, tamaño y configuración del robot. Se puede superar con pérdidas de prestaciones dinámicas.
- **Velocidad.** Se refiere a la velocidad a la cual el robot mueve la carga entre diferentes estaciones o zonas muertas. Este atributo, que se busca maximizar, se analiza para saber si las alternativas evaluadas tienen la capacidad de abastecer a las zonas de servicio. Es inversamente proporcional a la carga trasladada y resulta útil para calcular tiempos de ciclo.
- **Calidad de servicio.** Se refiere a las características del servicio que tiene el proveedor del robot, como son el financiamiento, tiempo de entrega, la

capacitación en el manejo del mismo y otros. Este atributo es cualitativo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.

- **Facilidad de programación.** Es la facilidad con que se puede programar el robot al introducir un nuevo producto con otra forma geométrica diferente al introducir nuevas coordenadas de posicionamiento, etc. Este atributo es cualitativo, se basa en los juicios del grupo de decisión y se busca maximizarlo.
- **Precisión.** Distancia entre el punto programado y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores en la calibración del robot (punto de sincronismo por ejemplo), deformaciones por origen térmico y dinámico, errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática, errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot, etc. Dependiendo de la aplicación y la escala de precisión en la que se mueve el robot puede ser imprescindible. Suele ser de décimas de milímetro.
- **Resolución:** Mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control del robot. Su valor está limitado por la resolución de los captadores de posición y convertidores A/D y D/A, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU y por los elementos motrices, si son discretos. Todo ello se muestra en la figura 2-6.

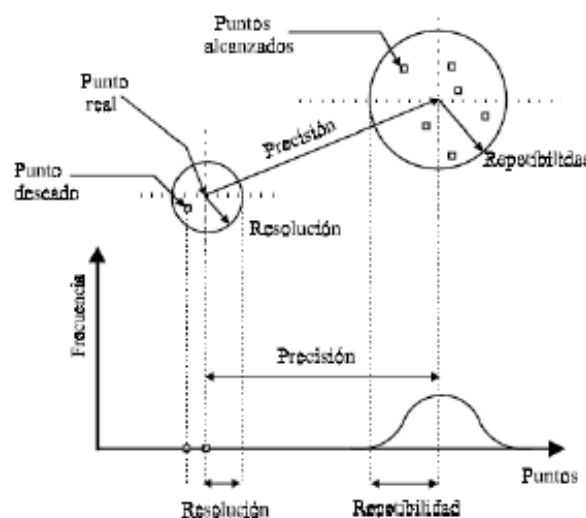


Figura 2-6 Comportamiento de un robot respecto a la frecuencia

- **Repetitividad:** Radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir al mismo punto de destino programado, con condiciones de carga, temperatura, etc..., iguales. El error de repetitividad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas (backlash).
- **Integración.** Es la facilidad con que el robot se integra al sistema de producción ya existente y con la que puede desempeñar otras tareas en diferentes líneas. Este atributo es subjetivo y se busca maximizarlo.
- **Sistema de control:** Por ejemplo:
 - Control punto a punto (PTP) o trayectoria continua.
 - Control en cadena abierta o en cadena cerrada.
 - Programación textual o por guiado.

Podemos ver como ninguna de las características generales de un robot industrial es un claro inconveniente. Más bien todo lo contrario, la mayoría de las características se acoplan adecuadamente a las indicaciones del proceso, consiguiendo una gran flexibilidad e integración en la zona de trabajo. También es necesario lograr un nivel de automatización y productividad adecuado al proceso. Llegados a este punto surgen una duda: ¿Existen otros mecanismos capaces de dotar al sistema de un buen grado de automatización?

A priori, resulta evidente que las maquinas de control numérico, muy desarrolladas en ciertos sectores puede ser una alternativa. Ahora bien, se trataría de un sistema automatizado pero demasiado rígido, totalmente opuesto a las exigencias principales, flexibilidad y facilidad de integración. También resulta muy conveniente que el sistema físico tenga alto grado de versatilidad y por lo tanto que a su vez sea fácilmente programable.

2.2.5. Procesos robotizados

El uso de robots en la industria es una aplicación relativamente joven si se compara con otras herramientas. La primera vez que se instaló un robot industrial ocurrió a la mitad del siglo XX. El primer robot con accionamiento eléctrico y controlado por computador vio la luz en 1973. Hoy en día, muchas de las actividades productivas tienen en los robots industriales unos de sus más importantes componentes, los cuales permiten aprovechar las numerosas ventajas que ofrecen los procesos automatizados, como pueden ser una mayor rapidez, flexibilidad, etc. Las compañías de producción industrial están obligadas a presentar alta productividad y ahorro en costes para subsistir en el mercado. Las operaciones manuales no son rentables en los países que presentan la mano de obra más cara, por lo que estas operaciones tienden a trasladarse a los países con menores salarios.

Por otro lado, cada vez se demanda mayor calidad de producto, que se consigue generalmente mediante la automatización. La inversión en robots facilita la posibilidad de mantener la producción en los países de renta alta y a la vez mejorar la calidad del producto. Además, ya que los robots se destinan a realizar a menudo tareas repetitivas y tediosas, frecuentemente peligrosas, la inversión en soluciones robóticas mejora las condiciones de seguridad de los trabajadores. A continuación se dará una visión global sobre la importancia del robot en diferentes sectores y aplicaciones industriales. También se muestran algunos datos concernientes a las cifras del mercado robótico mundial, que demuestran el constante crecimiento y desarrollo de estas soluciones.

La principal aplicación de los robots tiene lugar en la industria, donde es habitual la repetición de tareas, como la fabricación en serie de piezas y maquinaria, lo que obliga a realizar todas exactamente iguales. Un robot está programado para realizar los mismos movimientos y con la misma precisión, por lo que es perfecto para aplicaciones industriales. Aunque prácticamente todos los campos de la industria son susceptibles de emplear robots para determinadas operaciones o trabajos, solo vamos a describir las aplicaciones más comunes y concretamente las referentes a los procesos industriales de mecanización.

2.2.5.1. Operaciones industriales de mecanización

En industrias de automoción y fabricación de maquinaria en serie, los robots son de enorme utilidad en operaciones como:

Soldadura:

La tarea más frecuente robotizada dentro de la fabricación de automóviles ha sido sin duda alguna la soldadura de carrocerías, podemos diferenciar diferentes procesos en la figura 2-7. En este proceso, dos piezas metálicas se unen en un punto para la fusión conjunta de ambas partes, denominándose a este tipo de soldadura por puntos. Para ello, se hace pasar una elevada corriente eléctrica elevada y baja tensión a través de dos electrodos enfrentados entre los que se sitúan las piezas a unir. Los electrodos instalados en una pinza de soldadora, deben sujetar las piezas con una presión determinada (de lo que depende la precisión de la soldadura). Además deben de ser controlados los niveles de tensión e intensidad necesarios, así como el tiempo de aplicación. Todo ello exige el empleo de un sistema de control del proceso de soldadura.



Figura 2-7 Diferentes procesos de soldadura mediante robots

La robotización de la soldadura por puntos admite dos soluciones: el robot transporta la pieza presentando esta a los electrodos que están fijos, o bien, el robot transporta la pinza de soldadura posicionando los electrodos en el punto exacto de la pieza en la que se desea realizar la soldadura. El optar por uno u otro método depende del tamaño, peso y manejabilidad de las piezas. En las grandes líneas de soldadura de carrocerías de automóviles, estas pasan secuencialmente por varios robots dispuestos frecuentemente formando un pasillo, los robots, de una manera coordinada, posicionan las piezas de soldadura realizando varios puntos consecutivamente.

Recubrimientos y aplicación de materiales

El acabado de superficies por recubrimiento de un cierto material (pintura, esmalte, partículas de metal, etc.) con fines decorativos o de protección, es una parte crítica en muchos procesos de fabricación. Tanto en la pintura como en el metalizado, esmaltado o arenado, la problemática a resolver es similar, siendo la primera la que cuenta con mayor difusión. Su empleo está generalizado en la fabricación de automóviles, electrodomésticos, muebles, etc., como podemos observar en la figura 2-8.



Figura 2-8 Robots pintando la carrocería de un automóvil

Procesado y mecanizado

Dentro del procesado se incluyen operaciones en las que el robot se enfrenta a piezas y herramientas (transportando una u otra) para conseguir, en general, una modificación en la forma de la pieza. El desbardado consiste en la eliminación de rebabas de la pieza de metal o plástico, procedentes de un proceso anterior (fundición, estampación, etc.), ver figura 2-9. Esta operación se realiza manualmente con una esmeriladora o fresa, dependiendo la herramienta de las características del material a desbardar.



Figura 2-9 Robot puliendo (izquierda). Robot desbarbando piezas (derecha)

Corte de piezas mediante sierra o láser

El corte de materiales mediante el robot es una aplicación reciente que cuenta con notable interés. La capacidad de reprogramación del robot y su integración en un sistema, hacen que aquel sea el elemento ideal para transportar la herramienta de corte sobre la pieza, realizando con precisión un programa de corte definido previamente desde un sistema de diseño asistido por computador (CAD). Los métodos de corte no mecánico más empleados son oxicorte, plasma, láser y chorro de agua, dependiendo de la naturaleza del material a cortar. En todos ellos el robot transporta la boquilla por la que se emite el material de corte, proyectando este sobre la pieza al tiempo que sigue una trayectoria determinada. Las piezas a cortar pueden disponerse en varias capas, unas encima de otras, realizándose el corte simultaneo de todas ellas (método de corte de patrones en la industria textil).

Observamos como la actividad que mas robots demanda es con mucha diferencia la soldadura (50%), un campo donde los robots se adaptan realmente bien. Sectores como el ensamblado y trabajo de mecanizado (Actividades desarrolladas en este PFC) representan únicamente el 7% respectivamente.

2.3. Procesos robotizados de mecanizado

2.3.1. Concepto

Un mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Se realiza a partir de productos semi-elaborados como lingotes, barras, tochos u otras piezas previamente conformadas por otros procesos como moldeo o forja. Los productos obtenidos pueden ser finales o semi-elaborados que requieran operaciones posteriores.

- **Mecanizado por arranque de viruta**

El material es arrancado o cortado con una herramienta dando lugar a un desperdicio o viruta. La herramienta consta, generalmente, de uno o varios filos o cuchillas que separan la viruta de la pieza en cada pasada. En el mecanizado por arranque de viruta se dan procesos de desbaste (eliminación de mucho material con poca precisión; proceso intermedio) y de acabado (eliminación de poco material con mucha precisión; proceso final). Sin embargo, tiene una limitación física: no se puede eliminar todo el material que se quiera porque llega un momento en que el esfuerzo para apretar la herramienta contra la pieza es tan liviano que la herramienta no penetra y no se llega a extraer viruta. Ejemplos de este tipo de mecanizado son los procesos de: fresado, torneado, taladrado o mortajado. En este PFC se han llevado a cabo procesos de mecanizado robotizados con arranque de viruta.

- **Mecanizado por abrasión**

La abrasión es la eliminación de material desgastando la pieza en pequeñas cantidades, desprendiendo partículas de material, en muchos casos, incandescente. Este proceso se realiza por la acción de una herramienta característica, la muela abrasiva. En este caso, la herramienta (muela) está formada por partículas de material abrasivo muy duro unidas por un aglutinante. Esta forma de eliminar material rayando la superficie de la pieza, necesita menos fuerza para eliminar material apretando la herramienta contra la

pieza, por lo que permite que se puedan dar pasadas de mucho menor espesor. La precisión que se puede obtener por abrasión y el acabado superficial pueden ser muy buenos pero los tiempos productivos son muy prolongados.

Este tipo de procesos se ha desarrollado durante muchos años (siglo XIX) por máquinas tradicionales hasta la llegada de la automatización rígida, máquinas transfer, a partir de 1920. Las máquinas transfer desarrollaban el concepto de ser unidades autónomas de mecanizado, es decir máquinas automáticas diseñadas para la realización de un trabajo específico. Eran bastante laboriosas de programar para cada lote de piezas. Con el desarrollo de la electrónica a comienzo de la década de los "70 nace el concepto de control numérico que se generaliza en los años 80 y se beneficia del nacimiento y avances de la informática.

Con el control numérico, y su extensión a todo tipo de máquinas nace el concepto de centro de mecanizado, que es una máquina que es capaz de realizar las funciones de otras de diferente tipo, tornea, fresa, mandrina, taladra... tiene un almacén de herramientas y es capaz de posicionar la pieza a mecanizar en las diferentes posiciones necesarias y en las diferentes colocaciones. Todo ello con un control centralizado. Las máquinas han ganado en simplicidad mecánica, primero, y en electrónica, después, al pasar los elementos de control de mecanismos mecánicos a eléctricos o electrónicos, primero, y a programación, después. Como en el caso de la informática, el hardware es sustituido por el software.

En cuanto a las herramientas, los progresos en materiales cerámicos y en los estudios de las formas geométricas han influido en un notable rendimiento de las herramientas de corte que ha mejorado ostensiblemente el trabajo realizado.

2.3.2. Aplicaciones

Fresado

El fresado es el proceso por el cual se recorta material de una pieza (normalmente por capas) para formar una estructura específica, a menudo se trata de un prototipo o molde, podemos observarlo en la figura 2-10, tiene como principales beneficios, los que se muestran a continuación:

- Rendimiento: Los robots mediante su gran capacidad para generar diversas trayectorias pueden realizar con eficiencia este tipo de operaciones. Las células de trabajo pueden tener varias herramientas accesibles al robot para realizar mayor nº de operaciones, de esta forma se acelera los tiempos de ciclo.
- Precisión: El fresado requiere cortes exactos, fácil de proporcionar con robots.
- Flexibilidad: Los robots tienen una gran movilidad lo que les proporciona características muy buenas para conseguir realizar múltiples pasos.
- Asequibilidad: Los robots son rápidos, eficientes y seguros, una unión de características que los hacen muy rentables.

Para ciertas aplicaciones de fresado multi-ejes usar un centro de mecanizado tradicional de control numérico puede ser desmesurado. Se incluye el fresado de materiales complicados, como la arcilla, espuma o cera para el diseño de nuevos prototipos, así como los materiales tradicionales en los que las tolerancias dimensionales tengan que ser bajas. En estos casos, un robot podría ser más asequible y rentable que un centro de mecanizado. Pueden ser más útiles en piezas de gran tamaño, tales como chasis a escala de automóviles o componentes para estos a tamaño completo.



Figura 2-10 Fresado para la obtención de un molde.

En la actualidad se desarrollan sistemas que consiguen el control del movimiento del robot directamente a partir de un modelo CAM, generándose automáticamente el código de mecanizado que seguirá el robot. Esta forma de operar puede ofrecer importantes ahorros de tiempo y también permitir que los cambios realizados a los datos de corte sobre el modelo real puedan ser guardados directamente en el modelo CAM. Estos sistemas disponen de una gran capacidad de programación, similar a una máquina de CNC, pero unos valores inferiores de aceleración cuando se producen cambios de dirección bruscos. El controlador también es capaz de anticipar posibles singularidades, adaptando la trayectoria sin tener que levantar la herramienta de corte de la pieza.



Figura 2-11 Ejemplo de funcionamiento de fresado mediante robot

La robotización del fresado, mostrado en la figura 2-11, puede abrir nuevas oportunidades para las tareas de corte de metal ligero, con tal de que el robot puede proporcionar suficiente rigidez y capacidad de carga útil.

Desbarbado

En cualquier proceso de mecanizado por arranque de viruta quedan siempre pequeñas irregularidades, o rebabas, que hacen que la pieza en cuestión no obtenga la calidad, estética o acabado deseados.

Se ha producido cierta alerta sobre los problemas de salud y seguridad que puede conllevar los trabajos manuales de desbarbado, como el síndrome de los “dedos blancos” (adormilamiento permanente), debido a las vibraciones de las herramientas. Además un trabajo tan tedioso muchas veces se termina traduciendo en pérdida de la calidad en el acabado. Algunos fabricantes de automóviles están reemplazando o volviendo a evaluar el proceso manual de desbarbado por uno robótico automatizado mucho más preciso. Con un sistema robotizado de desbarbado se reducen mediante la eliminación de problemas de seguridad y salud. Al mismo tiempo se incrementa la calidad y se reducen los tiempos de ciclo, luego aumenta la productividad.

En la industria automovilística sirve para el desbarbado de los bloques y culatas de aluminio, llantas de aluminio, fibra de vidrio de asientos de seguridad para niños o diferentes piezas para la dirección o la caja de cambios, también para válvulas de acero, alabes de las turbinas o hasta cucharas de plata. La robotización del desbarbado no es una tarea fácil, como podemos ver en la figura 2-12.



Figura 2-12 Desbarbado de una llanta para automóvil (izquierda) y desbarbado de cremalleras de aluminio y alojamiento para piñones (derecha)

Perforación

Los procesos de taladrado realizados mediante robots ofrecen la mejor alternativa al agotador y a menudo peligroso taladrado manual. No sólo las compañías han mejorado la precisión de perforación, la repetividad y la velocidad, sino que han aumentado la productividad y el ahorro. Los beneficios de esta aplicación y el elevado ROI (ratio entre los costes y los beneficios en la investigación) hacen que este sistema sea una excelente inversión.

A diferencia del trabajo de taladrado manual, los robots pueden estar taladrando sin parar. Esto aumenta la producción de salida, ya que los ciclos de perforación se producen de forma más rápida y fiable. Se reducen costes que normalmente deberían gastarse.

Un sistema robotizado de perforación y remachado se utiliza en la actualidad en la división estadounidense de helicópteros SeaHawks y BlackHawks. El robot está equipado con frenos en cinco de sus seis ejes de movimiento para tener una buena estabilidad durante las operaciones de perforación y remachado. La remachadora se une al efector final a través de una placa que permite que el dispositivo se adapte a los pequeños errores en la posición inicial del robot durante el proceso de inserción del remache. El sistema está dirigido por un ordenador que actúa como control de

supervisión. El software está programado fuera de línea de forma que los diferentes datos sobre los procesos de ensamblaje que se producen quedan guardados en memoria

Una posible aplicación puede ser el uso de micro-robots para operaciones de taladrado ultra-precisas, como en el sistema de robots “insectos” desarrollado por la universidad de electrónica de Tokio. La demanda de maquinas con mucha mayor precisión ha sido la causa del desarrollo de estos mecanismos que pueden cubrir una amplia gama de trabajos sofisticados. Estos robots se componen de elementos piezoeléctricos para la micro locomoción y de electroimanes para la sujeción. Tienen baja producción y bajos gastos de mantenimiento. Además permiten trabajar simultáneamente para las tareas más complicadas. En este caso su aplicación será la micro perforación, donde muchos robots con instrumentos finos de taladro se controlan simultáneamente. Esta aplicación puede tener un gran potencial en sectores como la electrónica, en placas con micro-tecnología.

Otra posible aplicación es la que se muestra en la figura 2-13, el taladrado para la realización de moldes. El componente que se muestra en la imagen es una fracción de un molde para neumáticos. El proceso robotizado perfora más de 200 puntos de 5mm de diámetro en el molde de 100 mm de profundidad. En el pasado, los taladros profundos se realizaban de forma manual dando lugar a agujeros no alineados y con alguna rotura. Mediante el uso de la robótica y el control de las herramientas de mecanizado, se ha mejorado enormemente la duración de las piezas y la precisión en la posición de los taladros.

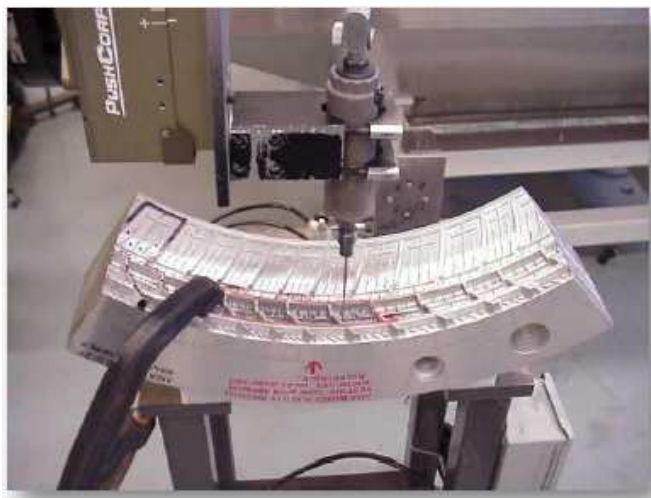


Figura 2-13 Taladrado de un molde de neumáticos

Acabado

Operaciones para la finalización de piezas, como son el abrillantado, el lijado, o el pulido son muy comunes en la mayoría de los procesos de fabricación. Cubre un gran rango de aplicaciones que puede llegar a ser de superficies duras, con métodos abrasivos, tales como son los que se utilizan para suavizar el acero. También para elementos que necesitan una gran precisión y cuidado para la eliminación de material, como por ejemplo en joyas. Los principales beneficios son:

- Precisión: El robot muele, alisa, y lima piezas de metal con precisión.
- Calidad: Estos sistemas pueden eliminar material con la misma calidad cada vez que se utilice.
- Fiabilidad: Gran productividad con mayor rendimiento.
- Ahorro: Dada su rentabilidad suelen ahorrar costos.

Estos sistemas para lograr un gran acabado se emplean también en los brazos para la suspensión de las Harley-Davidson, ya que es un proceso bastante complicado debido a las superficies con contornos mezclados, ver figura 2-14. Con un sistema manual se terminan 7 al día mientras que con un sistema robotizado para el pulido se completan 7 piezas por hora, lo que significa un aumento significativo en el rendimiento.



Figura 2-14 Lijado del guardabarros de una moto

Los alerones para automóvil se terminan con un gran volumen de trabajo en una célula robotizada. Este moldeado de plástico tiene que trabajar palpando alrededor de los bordes y deben ser suavizados para los procesos de impresión y pintura finales. Estos sistemas necesitan un sistema de control para la presión muy preciso, como el que se observa en la 2-15.



Figura 2-15 Pulido de un alerón para automóvil

Un proceso similar se utiliza para la finalización de los chasis de los automóviles, ver figura 2-16, ya que hoy en día estos cuerpos metálicos siguen diferentes trazas redondeadas en la superficie, por lo que es difícil precisar una trayectoria fija sin sistemas de control lo bastante precisos.



Figura 2-16 Lijado de la parte trasera del chasis de un coche



3 DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA **ROBOTIZADA**

3.1. Robot IRB2400/16 de ABB

3.1.1. Introducción

El IRB 2400 es un robot industrial de 6 ejes, diseñado específicamente para industrias de fabricación que utilizan una automatización flexible basada en robots. El robot tiene una estructura abierta especialmente adaptada para un uso flexible y presenta unas grandes posibilidades de comunicación con sistemas externos [14]. En la figura 3-1 se pueden ver tanto el robot como su controlador IRC5:



Figura 3-1 Robot IRB2400-16 y su controlador IRC5.

El robot está equipado con el software de control de robots RobotWare. RobotWare y BaseWare OS controlan todos los aspectos del sistema de robot, como el control de los movimientos, el desarrollo y la ejecución de programas de aplicación, la comunicación, etc.

El IRB 2400 ofrece mayores volúmenes de producción y menores tiempos de entrega para los productos que fabrica el cliente, gracias a las características que se muestran a continuación:

- **Fiable:** IRB 2400 es el robot industrial más popular del mundo. La robusta fabricación y el uso de un número mínimo de componentes contribuye a su alta fiabilidad y a los largos periodos entre operaciones de mantenimiento.
- **Rápido:** Gracias al control de movimiento, exclusivo de ABB, optimiza la aceleración y la deceleración, lo que se traduce en la menor duración posible de los ciclos.
- **Preciso:** El mejor en su clase por lo que se refiere a la precisión del recorrido y la repetitividad de la posición ($RP = 0,06 \text{ mm}$), con lo que se logra una calidad uniforme de las piezas producidas.
- **Resistente:** La capacidad de carga es de 20 kg, y su radio de acción máximo es de 1,810 m.
- **Robusto:** Con clasificación IP 67, lavable a vapor y con la opción “Foundry Plus”. Para fabricación en ambientes exigentes.
- **Versátil:** Todos los modelos se ofrecen con posibilidad de montaje invertido, para lograr una integración y fabricación aun más flexibles.

El IRB 2400, proporciona unas prestaciones excelentes para la manipulación de materiales, la asistencia a la mecanización y las aplicaciones de procesos. Sus principales campos de aplicación son: soldadura por arco, montaje, limpieza de piezas fundidas, corte/desbarbado, inyección de metales a presión en molde, pegado/sellado, rectificado/pulido, asistencia para mecanización, manipulación de materiales, embalaje...

En la figura 3-2, Dimensiones del robot, podemos ver las vistas lateral posterior y superior del manipulador (dimensiones en mm):

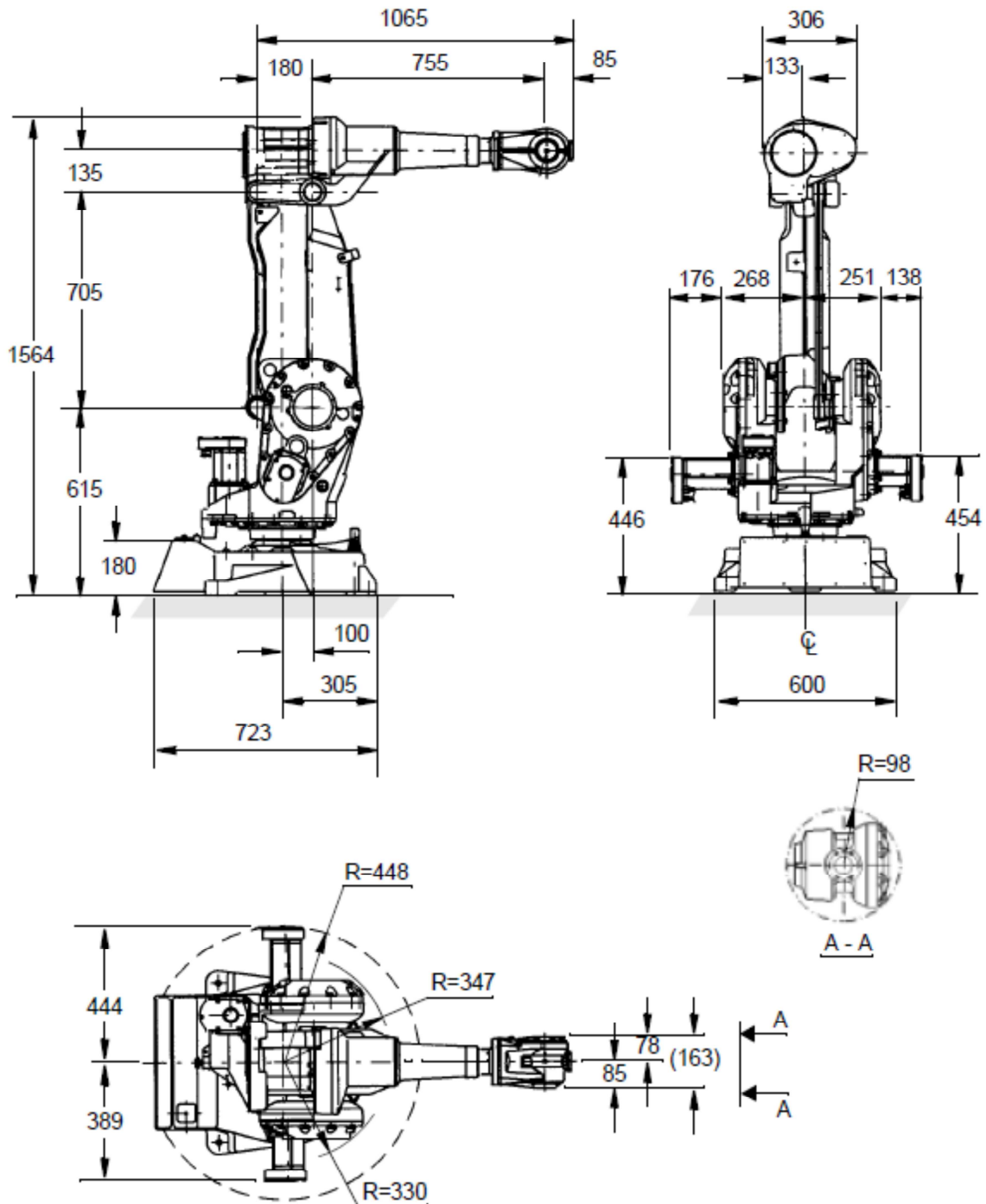


Figura 3-2 Dimensiones del robot

3.1.2. Instalación

El robot puede montarse sobre el suelo o en posición invertida. Para el anclaje del robot, en cualquiera de las dos posiciones, la base cuenta con los elementos de fijación mostrados en la figura 3-3 Elementos de fijación del robot:

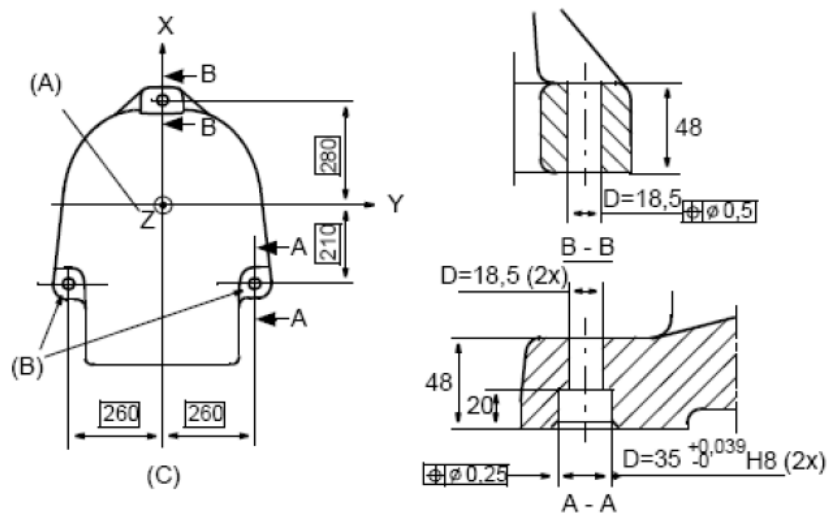


Figura 3-3 Elementos de fijación del robot

- (A) Z = Línea central del eje 1.
- (B) Dimensiones iguales.
- (C) Vista desde la parte inferior de la base.

Es posible fijar a la brida de montaje (eje 6) un elemento terminal con un peso máximo de 16 kg, incluida su carga útil. Consulte el apartado 3.1.3 Diagrama de carga para más información sobre la carga admitida por el robot. Además, es posible montar otros equipos en el brazo superior con un peso máximo de 12 kg, o en la base con un peso máximo de 35 kg. En cuanto a los orificios para el montaje de equipo adicional, consulte el apartado montaje de equipos.

El área de trabajo de los ejes 1 y 2 puede limitarse mediante topes mecánicos, y la del eje 3 mediante interruptores de límite. Es posible instalar interruptores de posición en el eje 1 para indicar la posición del manipulador.

3.1.3. Diagrama de carga

Es muy importante definir siempre los datos de carga reales y la carga útil correcta del robot. Una definición incorrecta de los datos de carga puede dar lugar a la sobrecarga del robot, dañando los motores, las cajas reductoras y la estructura mecánica. A continuación, en la figura 3-4, se muestra el diagrama de carga, que representa el máximo peso permitido para el montaje de una carga en la brida de montaje con distintas posiciones del centro de gravedad, donde el eje Z corresponde a la distancia a lo largo del eje perpendicular a la brida del robot desde dicha brida hasta el centro de gravedad, y el eje L corresponde a la distancia en el plano X-Y desde el eje Z hasta el centro de gravedad.

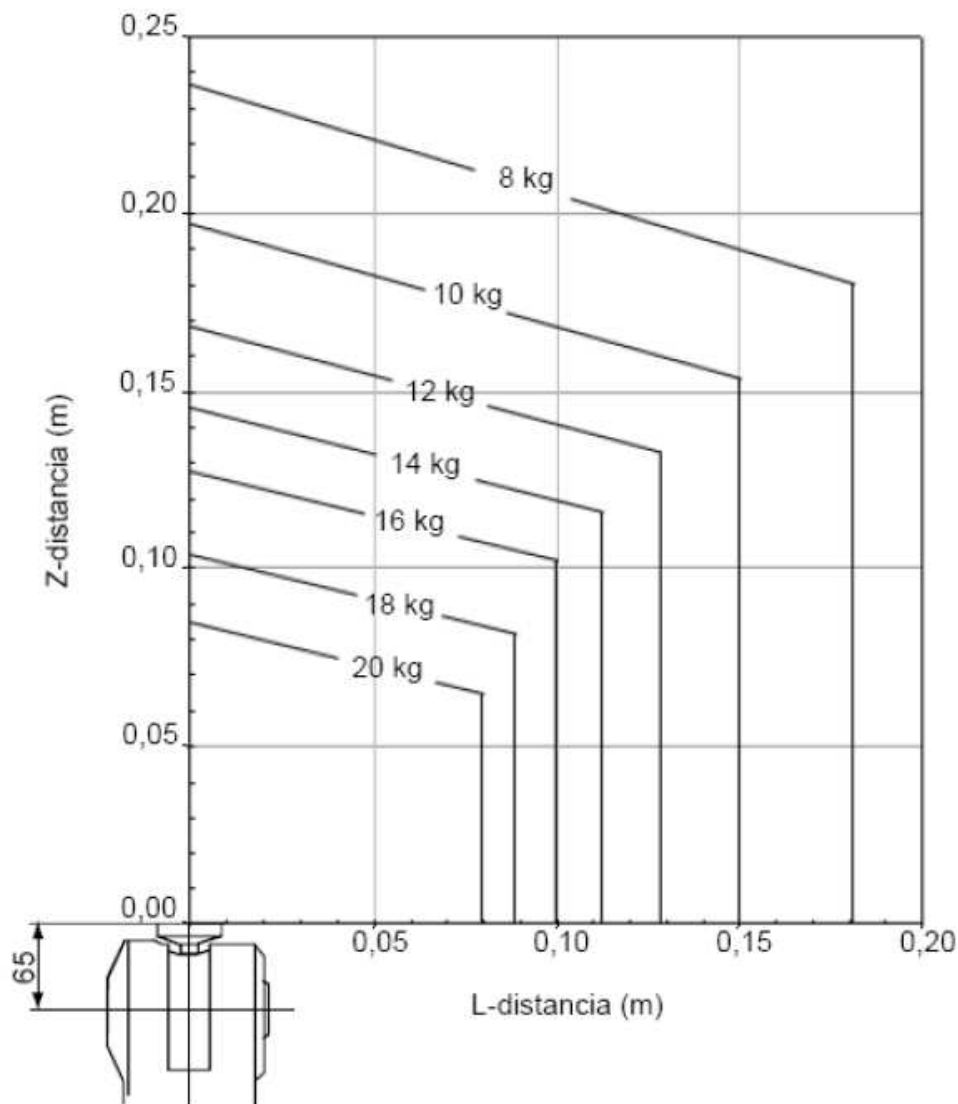


Figura 3-4 Diagrama de carga del robot

3.1.4. Montaje de equipos

- Montaje de equipos adicionales

El robot cuenta con orificios roscados en la parte superior del brazo y en la base para el montaje de equipos adicionales. En la Figura 3-5 se muestran estos orificios con las características de cada rosca y el número de orificios entre par. Junto a éstos, aparecen las zonas donde irían los equipos adicionales con el peso máximo y distancias soportadas.

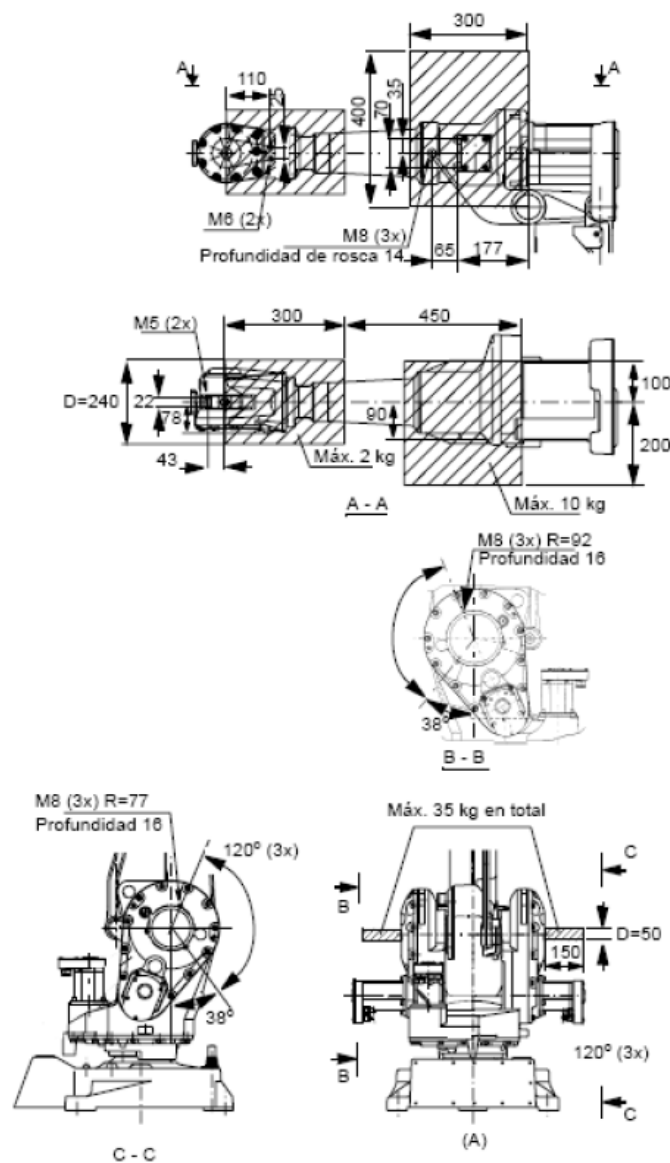


Figura 3-5 Montaje de equipos adicionales del robot

- **Montaje de herramientas**

La muñeca es el elemento terminal del robot donde se acopla la herramienta con la que se quiere trabajar. En la Figura 3-6 se muestra el sistema de fijación de la muñeca, con las distancias medidas en milímetros.

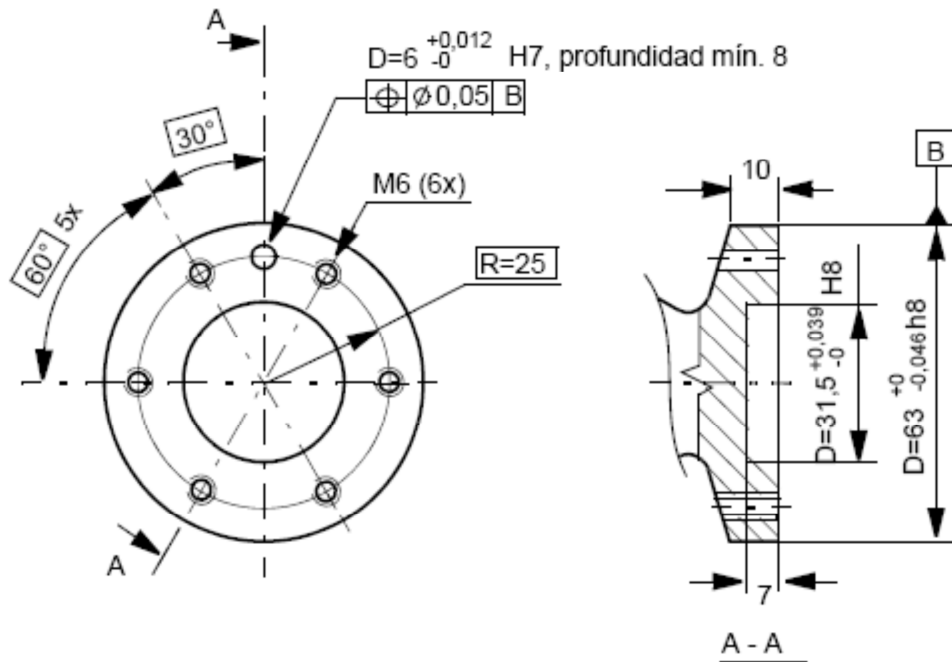
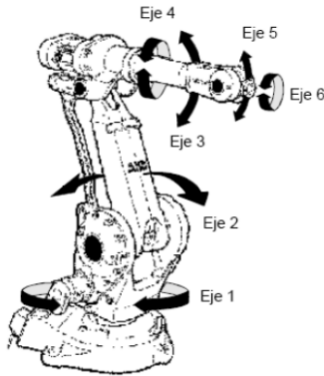


Figura 3-6 Sistema de fijación de la muñeca del robot

Se observa que la muñeca tiene seis orificios roscados para la fijación de la herramienta, y dos registros de posicionamiento consistentes en una circunferencia interior de 31.5 mm de diámetro, y una fija de 6 mm de diámetro.

3.1.5. Movimientos y alcance del robot

El área de trabajo es la misma tanto en una instalación sobre el suelo como en posición invertida. En la figura 3-7, se observan los seis ejes del manipulador y en la Tabla 3-1 se muestra tanto el rango como la máxima velocidad de giro de cada eje:



Eje	Rango de movimiento	Máxima velocidad de giro
1	De +180° a -180°	150°/s
2	De +110° a -100°	150°/s
3	De +65° a -60°	150°/s
4	De +200° a -200° *	360°/s
5	De +120° a -120°	360°/s
6	De +400° a -400° *	450°/s

Figura 3-7 Ejes del robot

Tabla 3-1 Movimientos del robot

Estos rangos de giro para cada eje definen el rango de trabajo que se muestra en la figura 3-8 Rango de trabajo del robot:

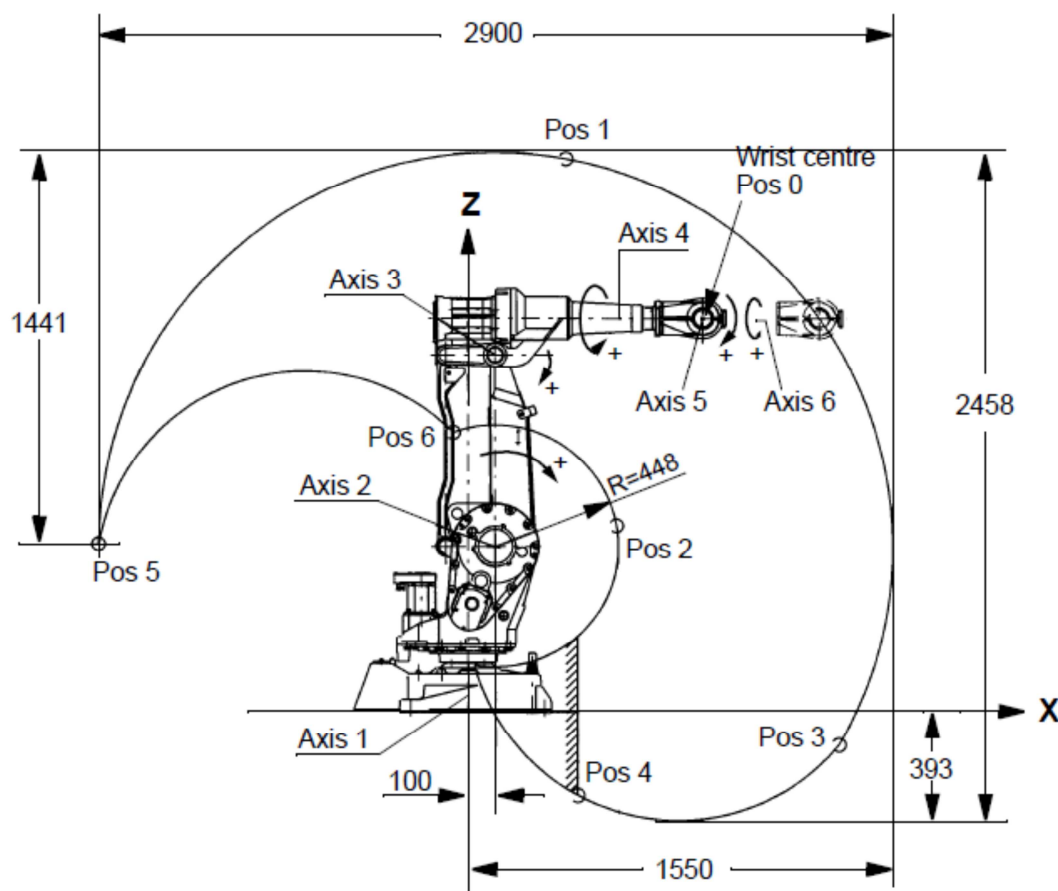


Figura 3-8 Rango de trabajo del robot

3.1.6. Mantenimiento

El robot requiere únicamente un mantenimiento mínimo durante su funcionamiento. Se ha diseñado para permitir el servicio técnico más sencillo posible: Se utilizan motores de CA sin mantenimiento.

- Se usa aceite como lubricante de las cajas reductoras.
- El encaminamiento de los cables se ha optimizado para conseguir la máxima longevidad. Además, en el caso poco probable de una avería, su diseño modular permite sustituirlos fácilmente.

Se requieren las siguientes operaciones de mantenimiento:

- Una vez al año, cambiar el filtro de la refrigeración de la unidad de accionamiento.
- Cada tres años, sustituir las baterías.
- Cambiar el aceite de la muñeca después del primer año y cada cinco años a partir de entonces.

Los intervalos de mantenimiento dependen del uso del robot. Para obtener información detallada sobre los procedimientos de mantenimiento, consulte la sección Mantenimiento del Manual del producto.

3.1.7. Controlador IRC5

- **Introducción**

El controlador IRC5 es un controlador de robot de ABB de quinta generación, el cual contiene los elementos electrónicos necesarios para controlar el manipulador, los ejes adicionales y los equipos periféricos. Consiste en un único armario de medidas 970 x 725 x 710 mm y 150 kg de peso, que contiene los siguientes módulos:

- **Módulo de accionamiento**, que contiene el sistema de accionamiento que proporciona la energía necesaria a los motores.
- **Módulo de control**, que contiene el ordenador, el panel de control, el interruptor de alimentación, las interfaces de comunicación, una tarjeta de entradas y salidas digitales, la conexión para FlexPendant, los puertos de servicio y cierto espacio libre para equipos del usuario. El ordenador cuenta con 4 ranuras PCI para tarjetas de expansión. El controlador también contiene el software de sistema, es decir RobotWareOS, que incluye todas las funciones básicas de manejo y programación (Rapid).

Además, el IRC5, cuenta con una unidad de interfaz portátil de diseño ergonómico con pantalla táctil que facilita la comunicación hombre-máquina. Se trata del FlexPendant, el cual se detallará más adelante.

- **Panel de control**

El panel de control, mostrado en la figura 3-9, es el elemento donde se localizan tanto los mandos de control del IRC5 accesibles por el usuario, como elementos auxiliares de comunicación temporización, etc....

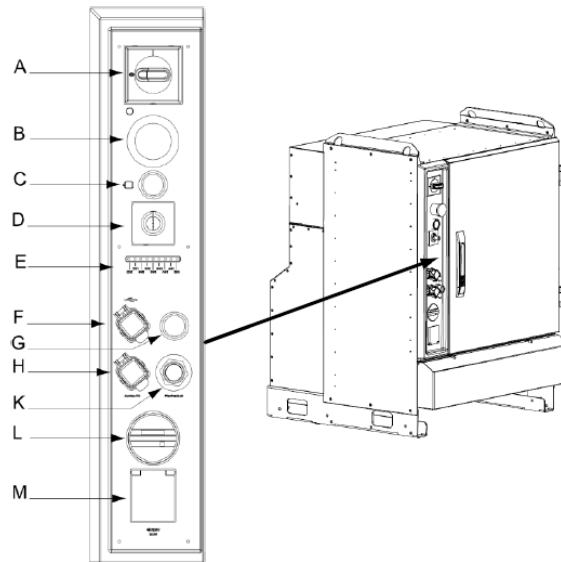


Figura 3-9 Panel de control del IRC5

En la Tabla 3-2 se muestra una lista de los elementos señalados en la figura anterior:

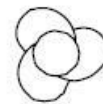
Tabla 3-2 Panel de control del IRC5

Elemento	Descripción
A	Interruptor principal de control de la alimentación de los módulos de accionamiento
B	Paro de emergencia. Si está introducido, tire para liberarlo.
C	MOTORES ON
D	Selector de modo de funcionamiento
E	LEDs de la cadena de seguridad (opción)
F	Conexión USB
G	Pulsador de hotplug de FlexPendant (opción)
H	Conexión de PC de servicio
K	Conexión de FlexPendant
L	Contador de tiempo de funcionamiento (opción)
M	Toma de servicio 115/230 V, 200 W (opción)

Motores ON: es una luz que nos indica el estado de los motores. Si está encendida permanentemente, quiere decir que está listo para la ejecución de programas. Si parpadea quiere decir que se ha activado uno de los paros de protección, el robot no está calibrado o los cuentarrevoluciones no están actualizados.

Modo de funcionamiento: mediante un interruptor con llave, es posible poner el robot en tres modos de funcionamiento distintos:

- Modo manual a velocidad reducida: Programación y configuración. Velocidad máxima 250mm/s. Este modo de funcionamiento se emplea cuando se está programando el robot, creando puntos y trayectorias, para lo cual puede ser necesaria la presencia del operario cerca del robot.
- Modo manual a máxima velocidad: comprobación a velocidad máxima del programa. Una vez verificado el correcto funcionamiento del programa, se debe realizar una última prueba a la velocidad real del programa
- Modo automático: Producción en funcionamiento. Una vez superada la prueba del modo manual a máxima velocidad, el robot está preparado para funcionar autónomamente en el modo automático.



Conexión de PC de servicio: mediante este conector Ethernet conectaremos el IRC5 a un PC mediante la herramienta Robotstudio Online como veremos más adelante.

Conexión USB: mediante este conector podremos cargar programas en el controlador mediante una memoria extraíble.

3.1.8. Flexpendant

El FlexPendant, ver figura 3-10, es el elemento encargado de comunicar al hombre con la máquina y viceversa. Consiste en un mando, como el mostrado en la siguiente imagen, con una pantalla táctil y distintos botones con los que poder programar, configurar, e incluso monitorizar el estado del robot.



Figura 3-10 FlexPendant

En la Tabla 3-3 se muestra una lista de los elementos señalados en la figura 3-10:

Tabla 3-3 Elementos de la FlexPendant

Elemento	Descripción
A	Pantalla táctil
B	Teclas definidas por el usuario
C	Pulsador de paro de emergencia
D	Joystick
E	Teclas de ejecución de programas
F	Dispositivo de habilitación

(A) Pantalla táctil

Pantalla táctil en color de 7,5 pulgadas que muestra textos e información gráfica. Es posible tener abiertas varias ventanas a la vez. En muchas vistas es posible ampliar y reducir la imagen. Muchas propiedades de la pantalla pueden ser configuradas por el usuario para conseguir un aspecto y una funcionalidad personalizados. Es posible invertir la pantalla y las direcciones del joystick para hacer que sea adecuado para usuarios zurdos.

(B) Teclas definidas por el usuario

Cuatro teclas definidas por el usuario que pueden configurarse para activar o restablecer una salida (por ejemplo para abrir o cerrar una pinza).

(C) Pulsador de paro de emergencia

Cuando se presiona este botón, el robot se detiene inmediatamente.

(D) Joystick

El joystick tridimensional se utiliza para mover el robot manualmente, por ejemplo durante los trabajos de programación. El usuario puede determinar la velocidad de este movimiento. Una inclinación pronunciada del joystick hace que el robot se mueva rápidamente. Una inclinación más leve hará que se mueva más lentamente.

(E) Teclas de ejecución de programas:

Teclas para iniciar y detener programas y ejecutarlos paso a paso hacia delante o hacia atrás.

(F) Dispositivo de habilitación

Durante el modo manual, un pulsador que, si está presionado hasta la mitad de su recorrido, pone el sistema en el modo MOTORES ON. Cuando se libera el dispositivo de habilitación o si es pulsado totalmente, el robot pasará al estado MOTORES OFF.

3.1.8.1. Barra de estado

En ella se muestra el modo de funcionamiento (Auto, Manual, Manual a velocidad máxima), el nombre del controlador, el estado de los motores y el estado de ejecución en el que se encuentra el robot, parado (*Stopped*) o en movimiento (*Running*), junto con la velocidad de ejecución.

En la figura 3-11, se muestra la barra de estado del FlexPendant.



Figura 3-11 Barra de estado de FlexPendant

3.1.8.2. Menú de configuración rápida

En el menú de configuración rápida, mostrado en la Figura 3-12, se puede modificar la velocidad, el modo de ejecución (*Un solo ciclo* o *Continuo*), incrementos en los movimientos,...

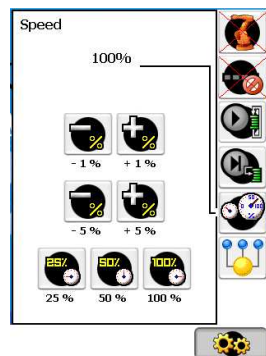


Figura 3-12 Menú de configuración rápida de FlexPendant

3.1.8.3. Menú ABB

A continuación se muestra en la figura 3-13, el Menú ABB en la FlexPendant, en el cual se pueden ver y simular las Entradas/Salidas, mover los ejes del robot, editar los programas RAPID y los datos de programa, realizar backups y restaurar desde éstos, calibrar el robot actualizando el cuentarrevoluciones, tener acceso al panel de control y al explorador de archivos de FlexPendant.

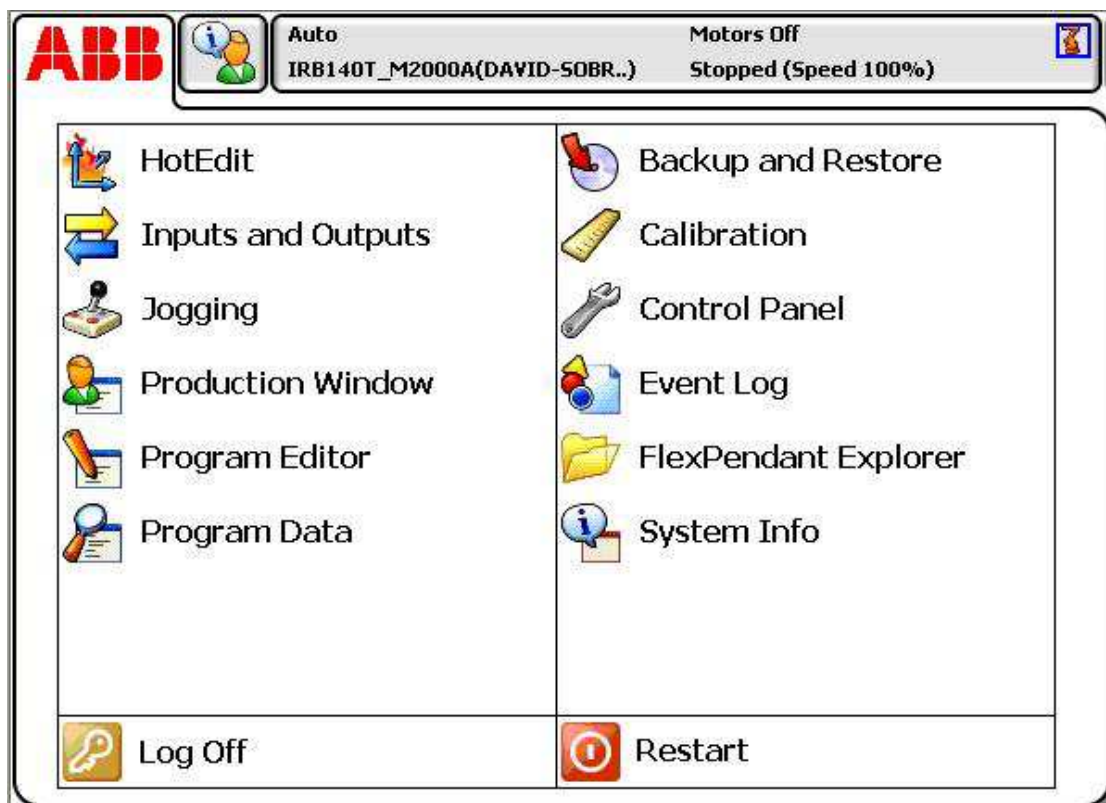


Figura 3-13 Menú de ABB en FlexPendant

Otra función importante del Menú ABB es el Reinicio. Hay muchos tipos de reinicio:

- Arranque W (reinicio en caliente) – utilizado para reiniciar y seguir usando el sistema actual. Todos los parámetros del sistema y programas se guardan en un archivo de imagen. Durante el proceso de reinicio, se reanuda el estado del sistema. Las tareas estáticas y semiestáticas se inician. Es posible iniciar los programas desde el punto en que fueron detenidos.

- Arranque C (reinicio en frío) – Si se quiere cambiar a otro sistema instalado o instalar un nuevo sistema y, al mismo tiempo, eliminar de la memoria el sistema actual. Todo el contenido, las copias de seguridad y los programas del directorio del sistema se eliminarán. Esto significa que será imposible reanudar el estado de este sistema de ninguna forma.
- P-Start- Elimina todos los programas de RAPID cargados por el usuario.
- I-Start - Reinicio de la instalación.
- B-Start - Reinicio desde datos de sistema almacenados previamente.

3.1.9. Robotstudio

Robotstudio es la herramienta software para la simulación y programación fuera de línea que la empresa ABB desarrolla para sus robots industriales. Forma parte de una familia de productos de software que la empresa ofrece a sus clientes para mejorar su productividad y reducir costes, y que sirven de apoyo a la gestión del ciclo de vida de sus soluciones robóticas. El controlador IRC5 trabaja con las últimas versiones de este producto. En la figura 3-14 se muestra la versión Robotstudio 5.13, la cual ofrece ventajas sobre todo de interfaz con respecto a sus predecesoras.

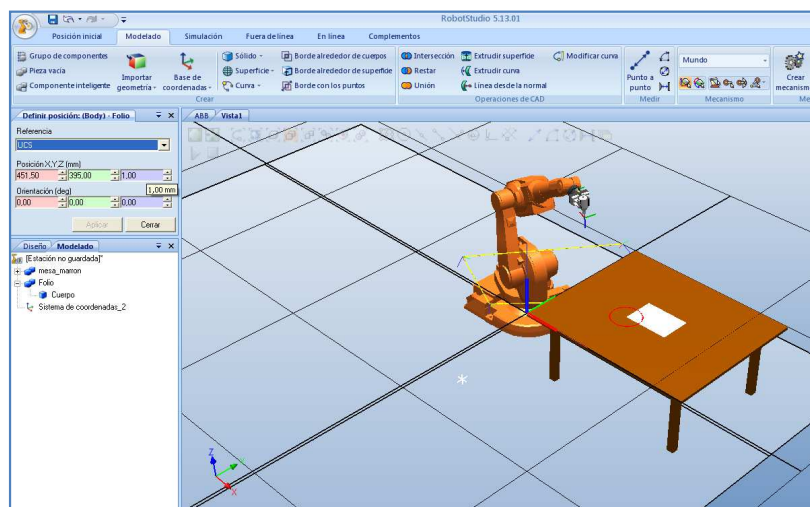


Figura 3-14 Robotstudio 5.13

Con esta herramienta, ABB ofrece las ventajas generales de la programación fuera de línea, entre las que se pueden destacar el permitir programar los robots en PCs sin parar la producción, o la posibilidad de preparar los programas con antelación, para mejorar la productividad. RobotStudio pues, incorpora herramientas que repercuten en la mejora de la rentabilidad de los sistemas, permitiendo llevar a cabo planes de formación, programación y optimización de sistemas sin parar los robots.

Esto añade muchas ventajas, incluyendo:

- Reducción de riesgos.
- Arranques más rápidos.
- Modificaciones de menor duración.
- Aumento de la productividad.

Al instalar RobotStudio en un ordenador, se instala también el controlador virtual (VC) que es una copia exacta del software real, que usan los robots en la producción. Así se llevarán a cabo simulaciones muy realistas y se facilita el proceso de carga y descarga de programas del robot al PC y viceversa.

Algunas características del programa se exponen a continuación:

- **Importar CAD:** Permite importar una amplia variedad de archivos CAD (IGES, STEP, VRML, VDAFS, ACIS, CATIA). Al trabajar con datos muy exactos, se generan programas más precisos, dando una mayor calidad a los productos.
- **AutoPath™:** Esta es una de las características que permiten ahorrar más tiempo en RobotStudio. Mediante el uso de un modelo CAD de la pieza a procesar, es posible generar automáticamente las posiciones del robot necesarias para seguir la curva en pocos minutos, una tarea que de otro modo tardaría horas o días.
- **Editor de Programas:** RobotStudio incorpora el software, que permite realizar y modificar fuera de línea programas RAPID de manera rápida y sencilla (en entorno Windows), repercutiendo en ahorros de tiempo de diseño.

- **Monitor de simulación:** es una herramienta visual para optimizar el movimiento del robot. Líneas rojas indican qué objetivos se puede mejorar para que el robot se mueven en la forma más eficaz. Es posible optimizar la velocidad y aceleración del TCP, entre otros, para ganar tiempo de ciclo.
- **Autoreach™:** Permite comprobar si los puntos incluidos en el sistema son alcanzables o no con la configuración actual.
- **TeachPendant virtual:** El programa dispone de una representación gráfica, que permite realizar todas aquellas operaciones que se pueden realizar con el real.
- **Tabla de eventos:** Utilidad para gestionar eventos como colisiones, simulación de señales I/O, mover/ocultar objetos...
- **Detección de colisiones:** El programa permite detectar colisiones de los diferentes objetos seleccionados haciendo un seguimiento de los mismos durante la ejecución de un programa.
- **VBA, Visual Basic para Aplicaciones:** RobotStudio permite usar VBA, que es una herramienta muy común y potente en aplicaciones informáticas.
- **Carga y descarga:** Todo el programa RAPID puede ser transferido del robot al software de simulación y viceversa sin necesidad de ninguna interfaz o traductor. Es una cualidad única, sólo suministrada por ABB gracias a su tecnología VirtualRobotTechnology. Programar fuera de línea con dicha tecnología es como tener el robot real en el PC.

Además, Robotstudio cuenta con una herramienta para trabajar en línea con los robots, llamada Robotstudio Online, que es una aplicación para PC que permite trabajar eficientemente con datos del IRC5. RobotStudio Online puede considerarse como el compañero ideal del FlexPendant, usándolos de forma que se complementan y cada uno está optimizado para sus tareas concretas. Al explotar todas las ventajas de esta potente combinación, es posible disfrutar de una nueva forma de trabajar con más eficiencia.

El FlexPendant tiene como fines principales el movimiento del robot con el joystick, la programación de posiciones, el manejo y el ajuste de movimientos, mientras que RobotStudio Online resulta ideal para el manejo de datos de configuración, gestión de programas, documentación en línea y acceso remoto.

RobotStudio Online actúa directamente sobre los datos activos del controlador.

La conexión al controlador puede hacerse localmente a través de la conexión para PC de servicio y, si el controlador cuenta con la opción de RobotWare PC Interface, a través de una conexión de red.

Un sistema de control maestro seguro garantiza que RobotStudio Online sólo pueda tomar el control de un robot si tal operación se autoriza desde el FlexPendant. La entrada principal a la funcionalidad de RobotStudio Online es un explorador de vistas de robot. Desde él se selecciona el robot con el que se desea trabajar, si hay varios robots instalados, y las partes del sistema que se desea utilizar. RobotStudio Online contiene:

- SystemBuilder para crear, instalar y mantener sistemas
- Un Editor de configuraciones, para editar los parámetros de sistema del sistema que se está ejecutando.
- Un Editor de programas para programación en línea.
- Una grabadora de eventos, para grabar y monitorizar los eventos del robot.
- Herramientas para realizar copias de seguridad y restauraciones de sistemas
- Una herramienta de administración para autorización de usuarios.
- Otras herramientas para visualización y manejo de propiedades del controlador y del sistema.

3.2. Herramienta

Una herramienta es un objeto que puede montarse directa o indirectamente sobre el disco giratorio del robot, o montarse en una posición fija dentro del área de trabajo del robot. Todas las herramientas deben tener definido un TCP (punto central de la herramienta).

3.2.1. Herramienta de mecanizado

En la actualidad se llevan a cabo muchos procesos mediante el mecanizado robotizado, teniendo todos ellos grandes resultados. Debido a las exigencias de los procesos que se desarrollan en este proyecto es necesario el uso de una herramienta de mecanizado flexible, con la que se puedan realizar diferentes trabajos. Con una herramienta de estas características se está preparado ante posibles cambios en la línea de producción. La herramienta de mecanizado diseñada en este proyecto es un elemento físico que engloba dos sistemas de PUSHCORP [15] fijados entre sí como se muestra en la figura 3-15:

- Un **servo motor tipo brushless**, encargado de ejercer un par sobre la punta. El mecanismo elegido es el **SM3002** de **Pushcorp**. Este elemento está controlado por un controlador también suministrado por esta marca. Dicho motor es de boquilla manual, es decir, el cambio de punta se realiza mediante un operador.
- Un **sensor de fuerza**, encargado de controlar la fuerza con la que trabaja la punta, como es el **AFD71** de **Pushcorp** para una configuración vertical. Este sistema resulta imprescindible a nivel industrial para minimizar los costes de puntas de trabajo y los tiempos de cambio de herramientas.



Figura 3-3 Herramienta de mecanizado

3.2.1.1. Servo Motor SM3002

El SM3002 es un servo motor de gran velocidad, no en balde dispone de 2 cv de potencia (1,5 KW). Esta herramienta ha sido desarrollada como una alternativa a los motores de aire, más ineficientes y con mayores costes de mantenimiento. Esta unidad funciona hasta las 30.000 rpm de forma muy eficiente. Para ello dispone de un sistema de refrigeración por agua. Este servo motor dispone de un cuerpo muy compacto además de tener un peso muy ligero. Para el cambio de punta posee una boquilla manual tipo “ER”, que tiene la capacidad de oprimir una amplia gama de diámetros de puntas. Al ser la boquilla manual, es necesaria la intervención de un operario cuando hay remplazar la punta. Para aplicaciones donde la punta tiene una gran duración este sistema es una solución ideal. El servo motor SM3002 puede montarse fácilmente en cualquier orientación.

- **Características** (Ver figura 3-16 Características del SM3002)



Figura 3-16 Características del SM3002

- **Funcionamiento**

El SM3002 se trata de un motor tipo brushless, más conocido como BLDC. Como estas siglas indican es un motor de excitación mediante corriente continua. Un motor brushless es básicamente un motor síncrono trifásico que tiene un rotor con imanes permanentes. Los devanados del estator son alimentados con tensiones de manera que el imán permanente del rotor sigue los campos magnéticos creados por los devanados del estator, es decir el rotor gira “persiguiendo” los devanados excitados del estator, como podemos ver en la figura 3-17. El SM3002 es un motor brushless trapezoidal, esto significa que la excitación de los devanados del estator se realiza mediante pulsos rectangulares de tensión. Los devanados se encuentran concentrados. El motor dispone de unos sensores Hall para saber la posición del rotor.

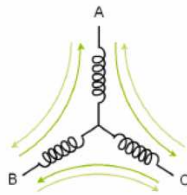


Figura 3-17 Control Trapezoidal

En definitiva, sabiendo la posición del rotor mediante dichos sensores, podemos forzar la excitación de los dos devanados del estator que nos proporcionan el vector de corrientes deseado, a su vez dicho vector de corrientes induce mediante un campo magnético a que el rotor gire de la forma deseada. Esto se produce para las 6 direcciones, como podemos ver en la figura 3-18.

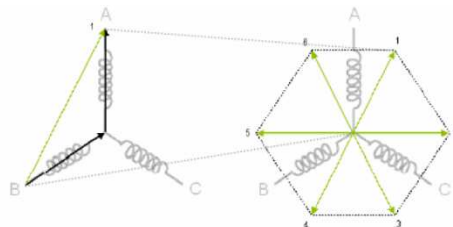


Figura 3-18 Cálculo del vector de corriente del estator

- **Montaje**

El SM3002 servo motor está diseñado para ser fácilmente instalado. La culata o parte trasera del motor, tiene un registro avellanado para un montaje preciso. Este avellanado tiene 25,4 mm de diámetro y 2,54 mm de profundidad. El usuario debe proporcionar un patrón de 25,4 mm en su placa o soporte para usar esta característica. También hay un orificio-registro previsto en la tapa. La figura 3-19 muestra las dimensiones totales del montaje, y la localización de estas características.

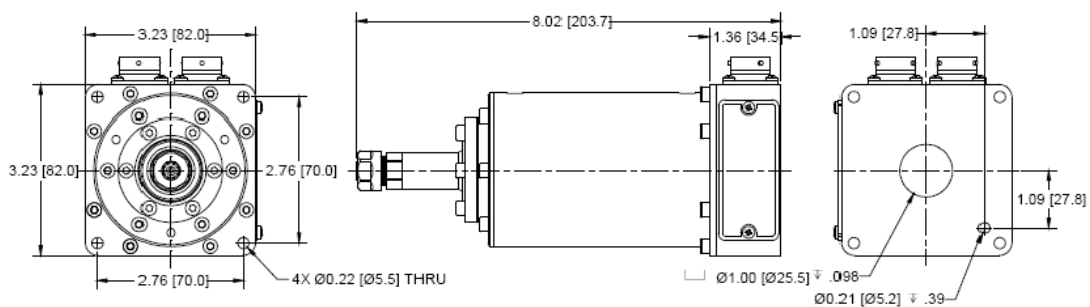


Figura 3-19 Dimensiones de montaje del SM3002

El SM3002 se puede acoplar al AFD-70 en tres posibles configuraciones; configuración paralela de los ejes, configuración de ejes cruzados (el SM3002 y el AFD-70 forman un ángulo de 90 grados) y en configuración de ejes perpendiculares (SM3002 y AFD-70 se fijan de forma perpendicular. En el caso de este proyecto se ha llevado a cabo el anclaje mediante la configuración de ejes paralelos. En la figura 3-20 se muestran estas tres configuraciones:

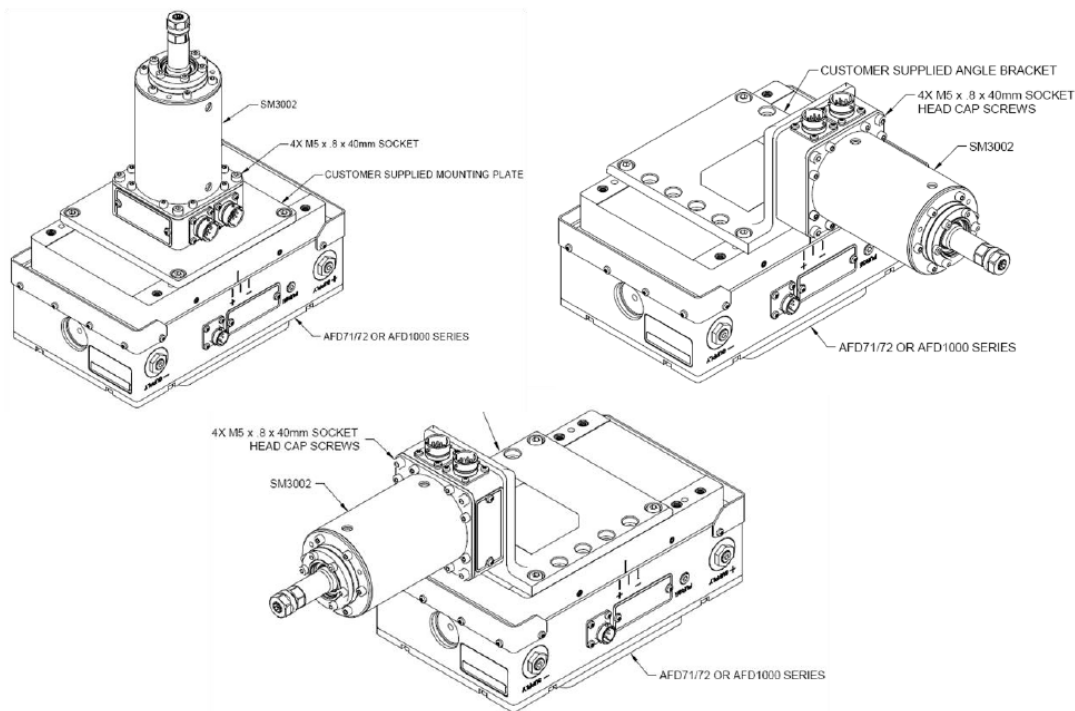


Figura 3-20 Configuración perpendicular, de ejes cruzados y de ejes paralelos

El acoplamiento del SM3002 al AFD-71 en una configuración de ejes paralelos se produce mediante un plato-brida angulado. El plato-brida de montaje se adhiere primero a la superficie de anclaje del AFD usando un sistema de piezas fácil y rápido. Después el SM3002 se posiciona en el plato-brida de montaje y de forma segura es encajado usando 4 tornillos M5x.8x40mm de cabeza plana.

- **Conexiones eléctricas**

El servomotor SM3002 tiene dos conectores eléctricos, como podemos ver en la figura 3-21, la alimentación del motor (alimentación de los devanados del estator con corriente continua) y la conexión de realimentación como se muestra en la figura. Pushcorp proporciona los cables y el amplificador necesarios para que el motor se conecte fácilmente.

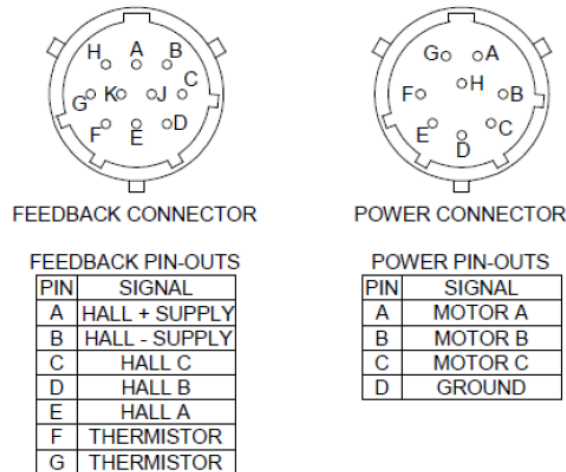


Figura 3-21 Conectores SM3002

- **Operación para el cambio de útil**

La boquilla del SM3002 se aprieta y afloja manualmente. El eje del motor debe sujetarse por su superficie aplanada mientras se gira la tuerca de la boquilla. Al girar la tuerca de la boquilla se aprieta la boquilla al eje del motor, quedando fijada. Para aflojar, simplemente habrá que girar la tuerca de la boquilla en sentido opuesto. La boquilla o collet es una serie ER Series (DIN 6499 Forma B) de tamaño 11. El par de apriete recomendado para la tuerca de Collet depende del diámetro del cuello de la punta que se utilice. Para puntas con diámetro de 3 mm a 7 mm, el par de apriete recomendado es de 6 N.m, y no deberá exceder 27 N.m. Para diámetros de 0,5 mm a 2,5 mm, el par de apriete recomendado es de 14 N.m, y no deberá superior a 17,6 N m. La profundidad máxima a la que puede ser insertada una punta en el casquillo se muestra en la figura 3-22.

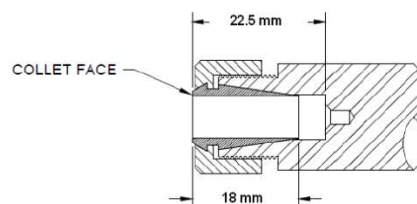


Figura 3-22 Boquilla del SM3002

También se puede cambiar el collet. Para montar el collet insertar las ranuras en el anillo excéntrico de la tuerca del collet en la marca de la parte inferior de dicha tuerca. Se presiona el collet mientras gira hasta que encaje, como se muestra en la figura 3-23. Para quitar el Collet, primero desenroscar la tuerca de collet del eje del motor. Después presionar la superficie y al mismo tiempo, empujar de lado en la parte posterior del collet hasta que se desactiva la tuerca.

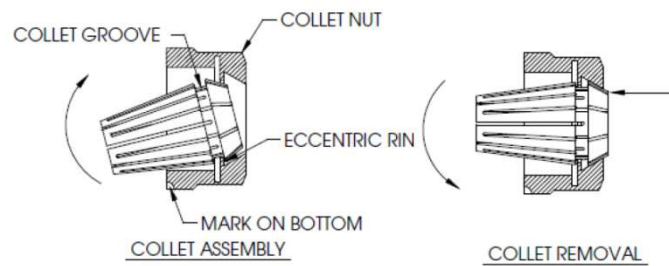


Figura 3-23 Cambio de boquilla del SM3002

- **Refrigeración**

El SM3002 es un servo motor compacto de 1.5 Kw de potencia el cual requiere liquido de refrigeración. Este servo motor de alta velocidad está diseñado para funcionar a una temperatura por debajo de 80 °C. El rango de óptimo de temperatura de funcionamiento es de entre 50-60 °C. Sin embargo es necesario tener precaución monitorizando la temperatura interna del motor durante una operación normal de producción. El SM3002 contiene conductos internos en el alojamiento del motor envolviendo el estator. Estas vías permiten una eficiente evacuación del calor. La refrigeración entra y sale del alojamiento del motor a través de dos orificios especiales como se muestra en la figura 3-24. El orificio inferior debería ser usado como el de entrada. Si se desea otro tipo de conectores, se puede remplazar el existente por otro conector sabiendo que el taladro tiene una rosca de M5x.8. Hay que asegurarse de no apretar demasiado el conector.

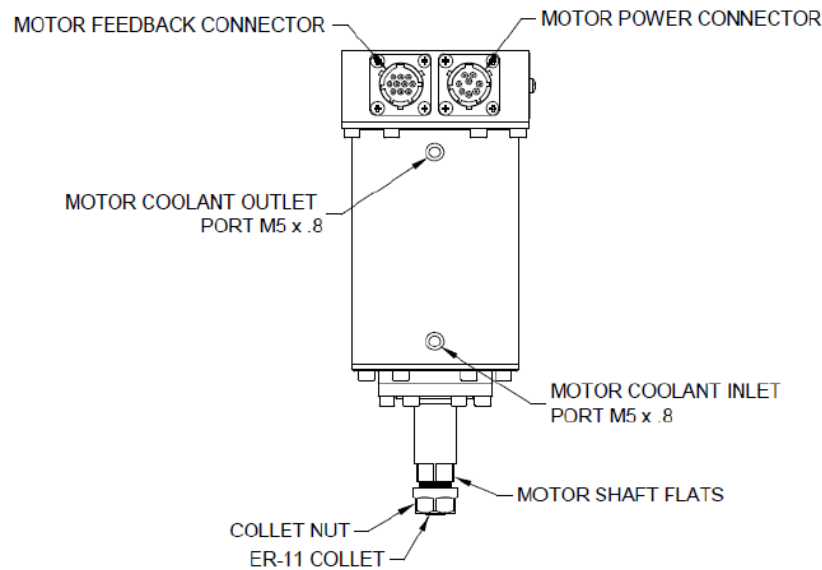


Figura 3-24 Conexiones externas del SM3002

El agua tiene un gran poder para transferir energía. Esto significa que este líquido de refrigeración evacua calor de grandes ciclos de trabajo y de aplicaciones de gran potencia. El SM3002 requiere un sistema de circuito cerrado para el líquido de refrigeración. Un sistema de circuito cerrado requiere una unidad de refrigeración por separado para hacer circular el líquido a través del alojamiento del motor y además evacuar el calor. Todo el líquido refrigerante está circulando por el sistema, y se requiere un suministro continuo y sin fugas.

Se requiere una mezcla de agua pura destilada con un inhibidor corrosivo. Las típicas unidades de refrigeración están integradas por una bomba, agua para la evacuación del aire caliente y un ventilador. Estas unidades están comercialmente aconsejadas para trabajos exigentes. La unidad de refrigeración debería diseñarse basada en la potencia demandada por el motor (de 1.5 Kw con un rendimiento medio del motor de un 90%) y en condiciones de carga de trabajo para el motor. De nuevo se recomienda un sistema de monitorización cerrada de la temperatura del motor mientras se lleve a cabo operaciones de producción para asegurarse de que no se sobrecalienta.

La vida del motor está directamente relacionada con la temperatura de funcionamiento, por lo que una refrigeración adecuada es crítica.

Pueden usarse la siguiente ecuación para calcular la temperatura del motor basada en el valor de resistencia del termistor medido:

$$T = \frac{1}{2.656 \times 10^{-3} + 2.317 \times 10^{-4} \ln(R) + 1.752 \times 10^{-7} \ln(R)^3} - 273.15$$

R is resistance in Kohms

$\ln()$ is the natural logarithm function (Base e)

T is temperature in °C

3.2.1.2. Sensor de Fuerza ADF70-1

La serie 70 de los sensores pasivos AFD ha sido diseñada como una alternativa de bajo coste para la serie 1000 de sensores activos de fuerza. Siendo una unidad más básica, también incluye varias características innovadoras, tales como reducir la fricción de funcionamiento y aumentar la precisión de la fuerza medida. Utiliza cilindros neumáticos de vidrio con pistones de grafito, y rodamientos lineales de esferas. Incorpora un potenciómetro lineal interno que permite la monitorización de la posición durante la operación. Tiene dos posibles formas de montaje sobre el robot, vertical (AFD71), horizontal (AFD72). Además se puede anclar a cualquier elemento con superficie plana de sobremesa (AFD73), como podemos ver en la figura 3-25.

El AFD71 solo podrá percibir fuerzas positivas, mientras que el AFD72 percibirá tanto fuerzas positivas como negativas. Dependiendo de la configuración elegida el sistema AFD monta un bastidor diferente.



Figura 3-25 Diferentes configuraciones del AFD70

La serie 70 requiere que el usuario proporcione al menos un regulador de presión para controlar la fuerza de salida que se ejerce. Si es un AFD72, se requiere dos reguladores. Este dispositivo, con componentes de baja fricción, consigue que la resolución y repetitividad de la fuerza de salida sea alta, y depende de la precisión del regulador. El regulador puede ser ajustado de forma manual o eléctrica basándose en los requerimientos de la aplicación. Si solo se requiere 1 nivel de fuerza y la orientación del AFD no cambia, un regulador manual es suficiente. Si la fuerza y/o orientación cambia durante el proceso, se requiere un regulador proporcional eléctricamente controlado. En algunos casos el peso de los componentes se debe tener en cuenta para que pueda aplicarse una fuerza constante independientemente de la orientación. Esta situación requiere el cálculo del regulador de presión teniendo en cuenta el peso y la orientación. Para monitorizar la posición de la herramienta se debe conectar el AFD-70 a una señal de potencia de corriente continua y a una entrada analógica. Todas estas características se combinan para hacer de la Serie 70 de PushCorp un dispositivo regulable muy robusto, y un dispositivo muy fiable capaz de ofrecer resultados estables en un gran número de aplicaciones industriales, las características las podemos observar en la figura 3-26.

CARACTERÍSTICAS AFD70-1

Sensor de fuerza en una dirección
Sensor de posición del sistema.
Cartucho de filtro de aire integrado
Diseño mecánico rígido y poco pesado
Recorrido lineal de 20 mm
Bajo coste
Necesita un regulador de presión
Máxima fuerza aplicable: 222 N
Resolución de fuerza: 45.2 N/bar
Peso AFD70-1: 7.7 kg
Carga útil máxima: 23 Kg

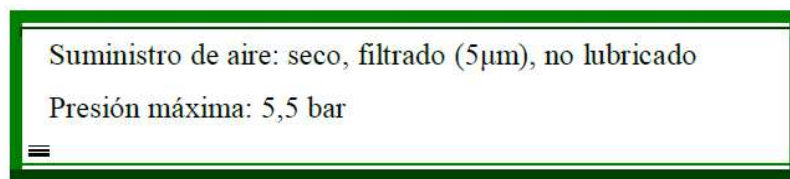


Figura 3-26 Características del AFD70-1

- **Fijación**

El sensor de fuerza AFD70 puede acomodar diferentes tipos de equipos para muchos procesos. El AFD puede orientarse de forma paralela o perpendicular a la brida de montaje del manipulador, sin embargo, es importante señalar que el AFD solo puede aplicar fuerza en dirección a la translación de la montura (parte móvil del sensor en la que se ancla la herramienta). En el proceso de montaje de la herramienta a la montura se deberá tener sumamente cuidado en el diseño e instalación de los soportes, ver figura 3-27. Unos soportes correctamente diseñados incrementara la rigidez en el anclaje, siendo una única estructura. Si el diseño de los anclajes resulta incorrecto se deformara la montura causando un error interno de desalineación en el raíl lineal lo que a conlleva la inconsistencia al proceso. Un síntoma de estas deformaciones es que la montura se sobrepase.

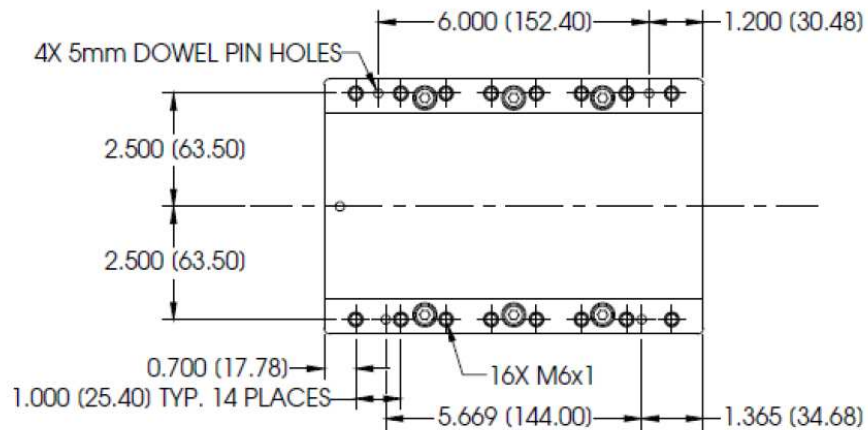


Figura 3-27 Diseño de la montura del sensor AFD70-1

La configuración básica del sensor de fuerza AFD70-1 permite una fijación a accesorios estáticos o a un robot. Las bridas de montaje para el robot disponen de placas de adaptación o "cambio rápido". El AFD70-1 tiene una brida estándar para el anclaje al robot como se muestra en la figura 3-28. Se deberán utilizar un mínimo de tres registros para un montaje seguro al robot.

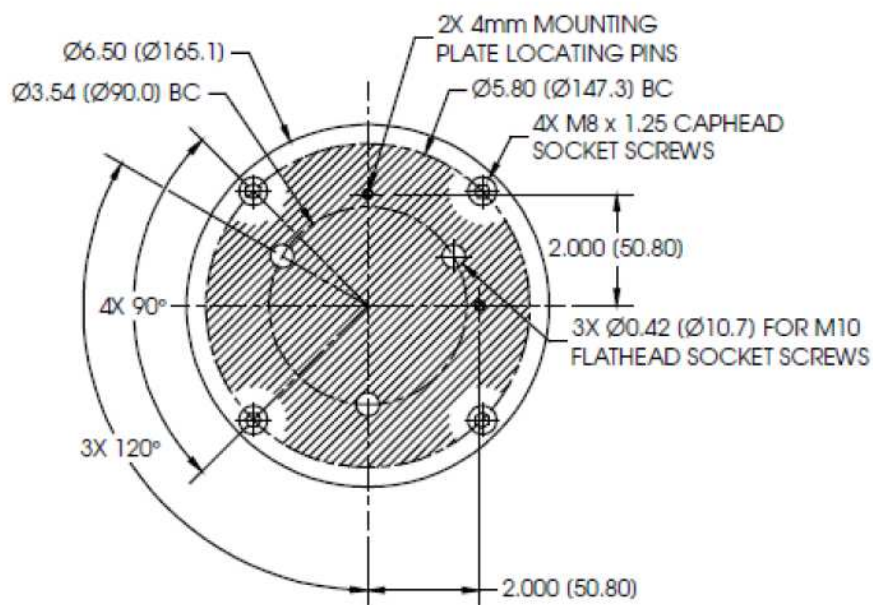


Figura 3-28 Diseño de la brida estándar del sensor AFD70-1

- **Calculo de la carga máxima de la montura**

El raíl de rodamientos que sostiene la montura ha sido empleado por su capacidad, tamaño y baja fricción. Con el fin de garantizar un rendimiento óptimo es muy importante no sobrecargar estos rodamientos. Con las siguientes ecuaciones se puede comprobar si se produce una carga excesiva. Se introducen la fuerza máxima que se puede registrar, el peso y las distancias de la carga para obtener la carga de los rodamientos. Esta debe ser menor al valor máximo aconsejable. Sobrepasar este valor reduce la vida y operatividad del sensor. En el caso de este PFC la carga de los rodamientos se puede aproximar como se muestra en la figura 3-29.

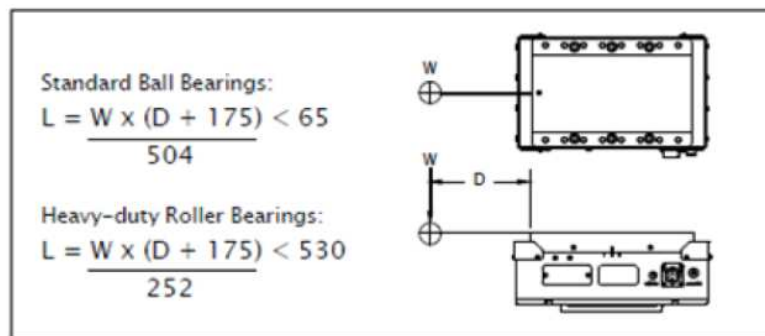


Figura 3-29 Carga rodamientos del sensor AFD70

Donde:

W = Fuerza máxima, incluido el peso. (Kg)

L = Carga de los rodamientos (Kg)

D = Distancia de la carga neta (mm)

\oplus = Posición de la carga neta

- **Conexiones eléctricas**

En la figura 3-30 podemos ver las conexiones eléctricas del sensor AFD70-1 y de la señal lineal del potenciómetro, las cuales se detallan a continuación:

+V: Tensión de alimentación- La alimentación debería regularse bien en un +/- 10%. La resistencia de carga es 1500 ohmios +/- 30%. La tensión de alimentación no

debería exceder 24 VDC. Cuando la fuente proporcione 12 VDC la señal a la salida estará entre 0 y 10 VDC.

COM: Toma común- Debería estar conectada al terminal común de la fuente al igual que a la tierra de la señal de posición analógica.

SHLD: Cable coaxial. La toma para el blindaje del cable. Conectar este cable al punto de toma de la instalación.

POSN: Señal de posición. Es la señal de salida del potenciómetro. Esta señal de voltaje representa la posición del transportador. El dispositivo conectado a esta salida debería tener una impedancia de entrada igual o mayor a 100kohmios. La linealidad de la señal del potenciómetro no viene calibrada de fabrica pero es lineal en un +- 1%.

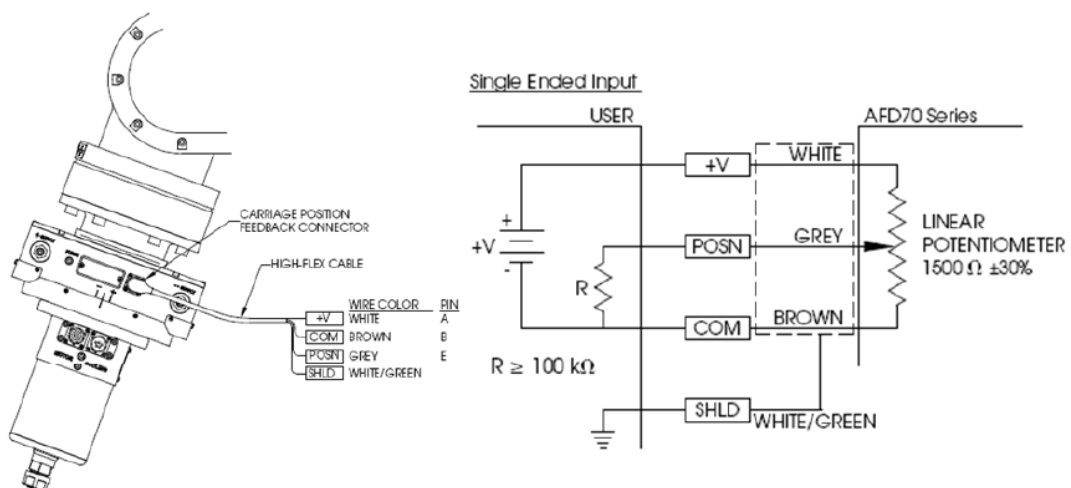


Figura 3-30 Conexiones de la señal lineal del potenciómetro

Calibración sistema

El AFD70 viene equipado con un potenciómetro interno que proporciona una señal de voltaje basada en el movimiento lineal del portador de la herramienta. La señal de voltaje es mínima cuando el portador está en la máxima posición del eje negativo posible, y máxima cuando el transporte está en la máxima posición positiva.

Se usa un cable de gran flexibilidad para conectar la fuente de corriente continua y las señales analógicas al sensor de fuerza. El conector esta específicamente diseñado para minimizar la tensión del cable. El enchufe y el zócalo están diseñados para que resulte imposible conectar ambos incorrectamente.

La señal de la posición lineal debe ser ajustada para cada aplicación. Realizar esta calibración resulta sencillo siguiendo los siguientes pasos:

1. Se conecta el cable, o bus, de gran flexibilidad al conector del sensor.
2. Conectar los cables del interior del bus como se muestra en la Figura x.
3. Mover el transportador a la posición más negativa.
4. Leer la señal de voltaje en el pin de salida. Este voltaje es una futura referencia.

Esta señal será conocida como V_{neg} .

5. Se mueve el transportador a la posición más positiva.

6. Leer la señal de voltaje del transportador en el pin de salida. Este voltaje es una futura referencia. Esta señal la conoceremos como V_{pos} .

7. La posición del transportador puede determinarse ahora midiendo el actuar voltaje en el pin de salida introduciendo el valor en la siguiente ecuación.

$$p = 20mm \times \frac{V_m - V_{neg}}{V_{pos} - V_{neg}}$$

Donde:

p = Posición del transportador mm)

V_m = voltaje medido en pin de salida del cable.

V_{neg} = voltaje de calibración medido en la posición más negativa del transportador, 0 mm.

V_{pos} = voltaje de calibración medido en la posición más positiva del transportador, 20 mm.

- **Control de Fuerza**

El AFD70-1 es un dispositivo pasivo de fuerza que requiere que se suministre aire a presión al actuador neumático. La presión en actuador se traduce en una fuerza de salida en el transportador. Si el AFD está siempre en posición horizontal o no cambia la orientación, lograr la fuerza deseada a la salida es sencillo. Sin embargo, si el AFD cambia de orientación la presión debe cambiarse a lo largo de la trayectoria del robot. Se debe conocer dos sistemas para lograr la fuerza de salida deseada: el peso que

sostiene el AFD y el ángulo del transportador con respecto a la gravedad, sentido perpendicular. El ángulo del transportador se requiere para que el peso pueda ser compensado. El peso es la suma del equipo bajo el AFD y del propio sensor. Este valor puede calcularse mediante el área y la presión en el actuador neumático. El mejor método para determinar el peso es con una célula de carga. El ángulo formado entre el transportador y vector gravedad queda definido como se muestra en la figura 3-31.



Figura 3-31 Angulo para el control de fuerza

La AFD70-1 tiene un actuador neumático individual, por lo que solo se pueden medir fuerzas positivas. El área de los cilindros es 67,74 mm², por lo que para 0.07 bar de presión de suministro el AFD aplica 3.1 N de fuerza. Por esta razón la serie 70 resulta muy fácil de instalar. Para aplicar una fuerza de 89 N, por ejemplo, solo habrá que ajustar la presión de suministro del AFD a 2 bares. Esto, sin embargo, hace que requiera al usuario para suministrar la presión un regulador de precisión para ajustar con exactitud la fuerza aplicada. El regulador de presión puede ser de carácter manual o eléctricamente controlado mediante un regulador proporcional. La repetitividad y la resolución de la fuerza de salida están directamente relacionadas con la exactitud del regulador neumático.

La siguiente ecuación define la fuerza aplicada de cada uno de los posibles dispositivos de la Serie 70-1:

$$F = (0.7 \times P) + 9.81 \times (W + 1.6) \cos \theta$$

Donde:

F = Fuerza neta aplicada por el AFD (N)

P = Suministro de presión (bar) W = Peso (Kg)

θ = Angulo del sensor relativo a la gravedad

- **Características suministro de aire.**

- Aire seco no lubricado
- Con filtro de 5 micras
- AFD requiere un filtro de aire para prevenir el interior del componente de materiales extraños.
- Presión de suministro menor de 5,5 bar
- No operar según las especificaciones descritas puede empeorar el rendimiento y anularía cualquier garantía en relación con la reparación de los componentes neumáticos.
- El sistema de suministro neumático debería ser configurado como se muestra en la figura 3-32:

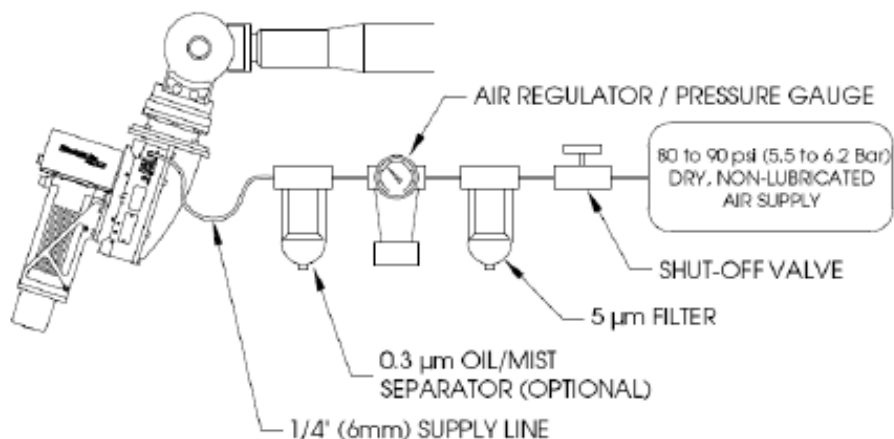


Figura 3-32 Configuración neumática

- Si la condensación del agua es un problema en el sistema de suministro un dispositivo de secado es muy recomendable. La solución ideal es un enfriador industrial en seco capaz de reducir el punto de rocío por debajo de 0 °C.
- La humedad dentro del dispositivo de fuerza causara errores prematuros.
- Para aplicar fuerza en sentido positivo, la línea de alimentación debe conectarse al puerto positivo de suministro de aire y viceversa si se quiere conectar en sentido negativo.

- En aplicaciones donde el ambiente contiene gran cantidad de partículas suspendidas en el aire debe usarse un purificador para asegurarse que el interior del AFD se mantiene limpio de elementos exteriores.
- El sistema AFD viene provisto de un puerto para el purificador de aire en el suministro de aire. El puerto utiliza métrica R1/8 cónica en la instalación neumática. En la figura 3-33 se muestra sus conexiones

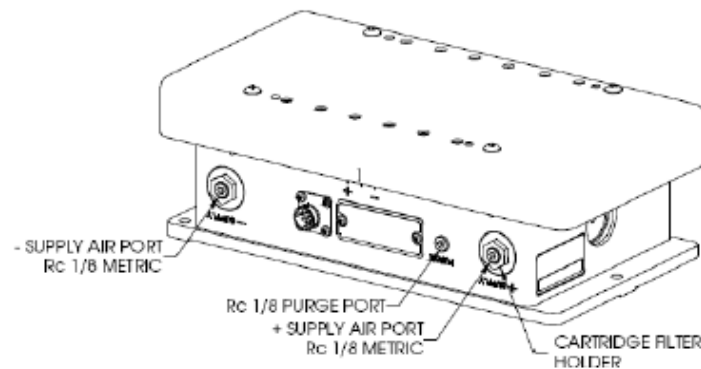


Figura 3-33 Conexiones de aire del sensor AFD70

- La presión de entrada en el purificador puede estar entre 0.7 y 4.1 bar con un caudal de entre 14 – 56 l/min dependiendo de la aplicación. El purificador debe ser seco y no lubricado, sin embargo solo es necesario filtrar 20 micras.
 - La línea de suministro y de purificación de servicio deberían ser de 6mm de diámetro, flexible y con tubos de poliuretano.
 - Los tubos deberían estar comunicados con el AFD de tal forma que no haya torceduras y teniendo la suficiente holgura para permitir movimientos del manipulador.
- **Montaje**
 - Antes de conectar la línea de abastecimiento y la de purificación en sus respectivos dispositivos hay que abrir el cierre de la válvula para liberar cualquier contaminante que pueda estar en el interior. Entonces el tubo ya puede ser instalado en el lado del AFD libre de bloqueos. Se cargan las válvulas con aire y se verifica que no hay fugas de aire.

- Es más recomendable utilizar tubos de poliuretano flexible que de nylon, ya que los tubos de nylon tienden a bloquearse cuando se doblan. Esto limita severamente la llegada de aire.
- Para quitar la línea de suministro, primero descargar toda la presión de aire del sistema, luego mientras se empuja hacia dentro el puerto del anillo de plástico, simultáneamente tirar del tubo hacia fuera. Cubra o conecte el montaje de bloqueo, en cualquier momento el sistema de suministro de aire o el purificador no estarán conectados. Esto mantendrá los contaminantes sin entrar en el AFD.

- **Cartucho interior del filtro del aire**

La serie 70 contiene un cartucho como filtro en la base de su alojamiento. Este cartucho-filtro esta designado para ser la última línea de defensa para proteger el sistema AFD de la contaminación. No está designado para ser el único medio para el filtrado de aire. Si el filtro llegase a obstruirse, la herramienta no llegaría a funcionar correctamente. La sustitución de estos cartuchos puede hacerse adquiriéndolos de PushCorp (el proveedor de la herramienta) o directamente del fabricante, Parker S.A.

Para quitar el cartucho de filtrado aflojar el elemento en el que reposa, que se encuentra encima de la base de su alojamiento, ver Figura 2. Quitar el cartucho y realizar una inspección visual. La condición en la que se encuentra el cartucho de filtrado nos dará una idea de la calidad del sistema de suministro de aire.

Colocar un nuevo cartucho de filtrado en su soporte correspondiente e insertar ambos a la base del alojamiento del AFD. Apretar el elemento donde reposa el filtro a un par de 10 N.m.

3.3. Sistemas auxiliares

3.3.1. Componentes eléctricos

En este apartado se describen todos los sistemas eléctricos auxiliares que forman parte de la célula robotizada:

- **Interruptores automáticos y diferenciales.**

Para el control de los diferentes dispositivos eléctricos de elevada potencia se ha procedido a la instalación de interruptores automáticos y diferenciales. De esta forma se asegura el correcto funcionamiento de cualquier equipo y la seguridad en la célula de fabricación robotizada.

- Interruptor automático magneto-térmico Merlin-Gerin C60N de 10A y 5-XS1 Siemens de 4ª, ver figura 3-34. Es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede de un determinado valor o, en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de no causar daños a los equipos eléctricos. El interruptor automático puede ser rearmado una vez localizado y reparado el daño que causó el disparo o desactivación automática.

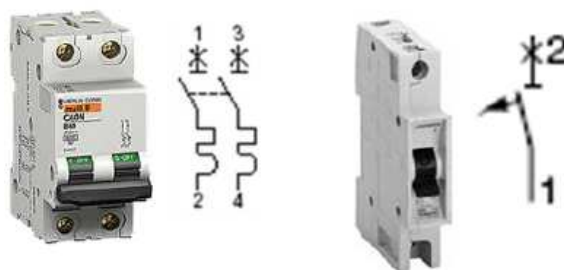


Figura 3-35 Interruptor automático.

- Relé 40.31 Finderenchufable, que se muestra en la figura 3-37. Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un

electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Mediante relés se puede activar/desactivar las fases de las señales de potencia con señales de baja intensidad. Las características principales son:

- Reticulado 3.5 mm
- 1 contacto 10 A
- Bobina DC (estándar o sensible) y bobina AC
- Contactos sin Cadmio
- 8 mm, 6 kV (1.2/50 μ s) entre bobina y contactos
- UL Listing (combinaciones relé/zócalo)
- Estanco al flux: RT II estándar,
- Zócalos serie 95
- Módulos de señalización y protección CEM
- Módulos temporizados serie 86

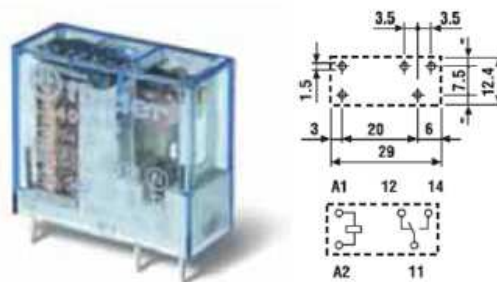


Figura 3-35 Relé40.31 Finderenchufable

- **Conversor digital analógico (DAC)**

Este dispositivo convierte una entrada digital (generalmente binaria) a una señal analógica (generalmente voltaje). Los conversores digital-analógico son interfaces entre el mundo abstracto digital y la vida real analógica. Mediante una suma ponderada de los dígitos de valor 1 se consigue un conversor digital-analógico rápido; la ponderación puede hacerse con una serie de resistencias en progresión geométrica (cada una mitad de la anterior), lo cual obliga a utilizar un amplio rango de resistencias, o bien mediante una red R-2R que efectúa sucesivas divisiones por 2.

Para el PFC se ha utilizado un convertidor digital analógico KR- 12BIN/10-0 de la marca KRENEL [16], que se muestra en la figura 3-36. Este DAC dispone de 12 bits y proporciona una salida de entre 0/10 voltios. De esta forma convierte una señal digital de 12 bits en código binario, a una señal analógica de tensión o intensidad, con 4096 puntos de resolución, 212. Se presentan en configuración modular estrecha para encajarse en perfiles de raíl DIN, con bornes enchufables por tornillos, de reducido espacio y consumo.

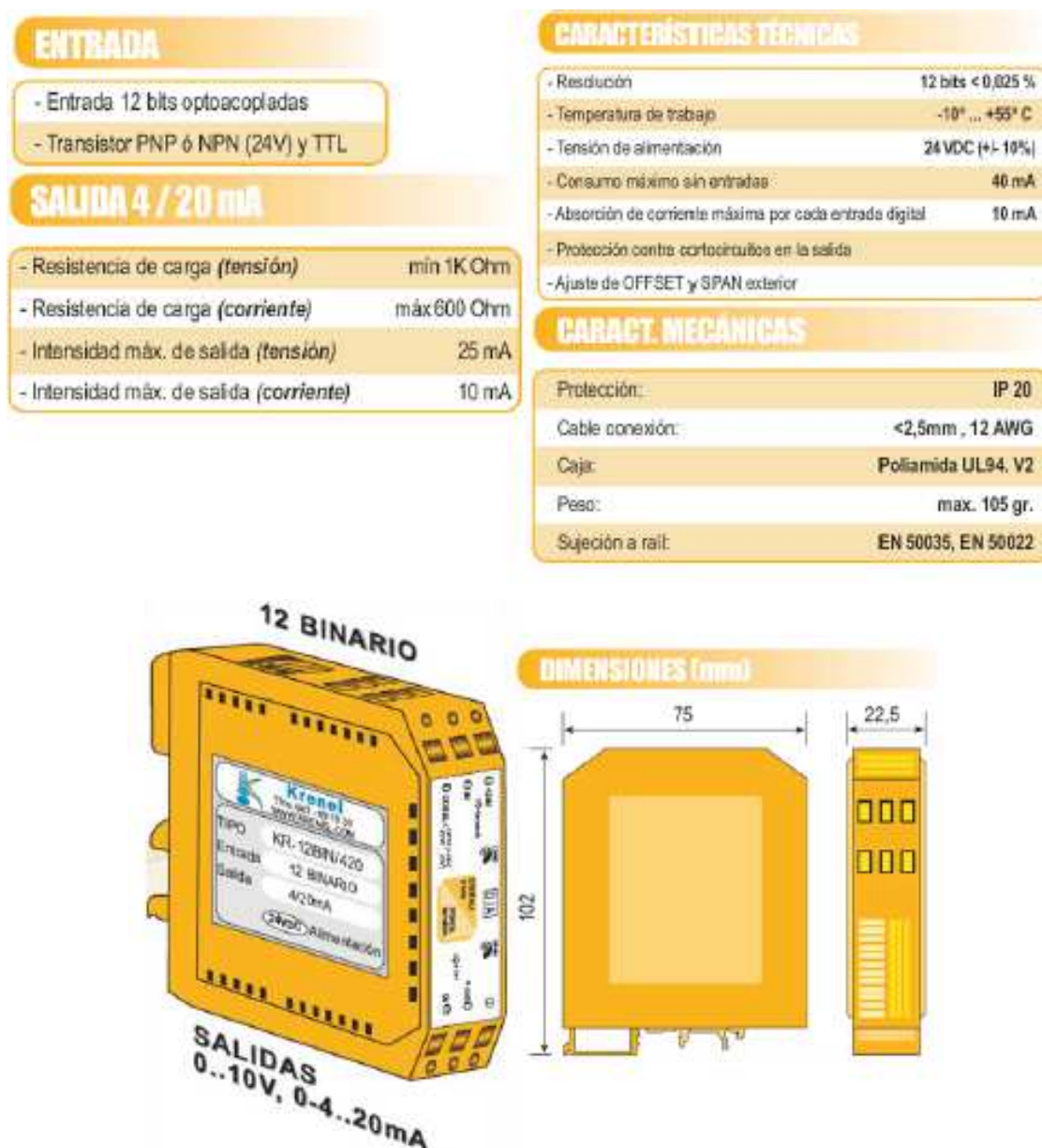


Figura 3-36 Características del DACKR- 12BIN/10-0 de Krenel.

- **Conversor analógico digital (ADC)**

Un conversor (o convertidor) analógico-digital (CAD), (o también ADC del inglés "Analog-to-Digital Converter") es un dispositivo electrónico capaz de convertir una entrada analógica de voltaje en un valor binario[17]. Estos conversores poseen dos señales de entrada llamadas V_{ref+} y V_{ref-} y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada. El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución. Esta resolución se puede saber, siempre y cuando conozcamos el valor máximo que la entrada de información utiliza y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios.

Para el PFC se ha utilizado un convertidor analógico digital 787-503 de la marca Wago[18], que se muestra en la figura 3-37. Este ADC dispone de 10 bits de salida y proporciona una salida binaria en función de la intensidad de la entrada al convertidor que puede oscilar entre 4mA y 20 mA. De esta forma convierte una señal analógica en código binario de 10 bits, con una resolución de 15.6µA, o lo que es lo mismo, 1024 puntos de resolución. Se presentan en configuración modular estrecha para encajarse en perfiles de raíl DIN, con bornes enchufables por tornillos, de reducido espacio y consumo.

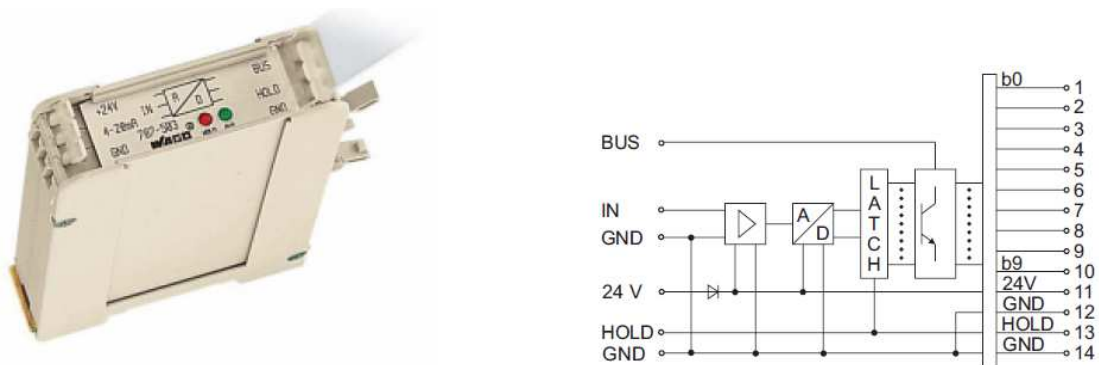


Figura 3-37 Conversor analógico digital 787-503 de Wago

- **Controlador analógico para servomotor**

Para el uso adecuado del servo-motor SM3002 anteriormente descrito es necesario un sistema de control. Para ello se utiliza el B30A40AC, ver figura 3-38, de la marca ADVANCED MotionControls [19]. El B30A40AC es un controlador analógico, mediante señales PWM, diseñado para el manejo de un servomotor brushless de corriente continua a altas velocidades de conmutación. Mediante un LED se puede observar el estado operativo, rojo/verde. El control está totalmente protegido frente a sobre tensión, sobre corriente sobre calentamientos y frente a cortocircuitos entre el motor, masa y conductores de potencia. Además la unidad puede interactuar con controladores digitales o ser usada de forma autónoma requiriendo únicamente un suministro de alimentación no controlado de corriente alterna. La ganancia en lazo cerrado, el límite de corriente, la ganancia de entrada y el offset se pueden ajustar usando potenciómetros. El offset, ajustado mediante un potenciómetro, puede también utilizarse como una señal de entrada para probar los efectos que conlleva. En definitiva esta unidad, conociendo el estado de giro del motor (sensores Hall) proporciona la secuencia de señales adecuadas a los bobinados del estator para un giro adecuado. El rango de funcionamiento del controlador lo podemos encontrar en la tabla 3-4.



Figura 3-38 Controlador B30A40AC.

Tabla 3-4 Rango de funcionamiento del controlador analógico.

Rango de potencia	
Máxima corriente de pico de entrada	30 A
Máxima Corriente continua de salida	15 A
Tensión de alimentación	45-270 VAC

Como principales características del controlador analógico destacamos las siguientes:

- Funcionamiento regenerativo en cuatro cuadrantes.
- Ajuste del límite de corriente.
- Habilitado/deshabilitado de forma lógica.
- Contiene un regulador de derivación.
- Con terminales externos del regulador de derivación.
- Potenciómetro para ensayos.
- Ajuste del offset mediante potenciómetro.
- 120/60 fase de conmutación de los Hall.
- Control de velocidad mediante Hall.
- Control de velocidad mediante encoders.
- Realimentación diferencial de los encoders.
- Inhibición de señales fuera de límites.

3.3.2. Componentes neumáticos e hidráulicos

En este apartado se describen todos los sistemas neumáticos auxiliares que forman parte de la célula robotizada:

- **Válvulas**

Las válvulas utilizadas en la célula robotizada son de dos tipos distintos ambos de la marca SMC con cinco vías y dos posiciones accionadas. El empleo de una u otra se debe únicamente al tamaño ocupado, debido al reducido espacio disponible en algunos casos. En la figura 3-39 podemos ver ambos modelos con su esquema neumático mientras que en la tabla 3-5 podemos encontrar un resumen de las principales características de ambas:

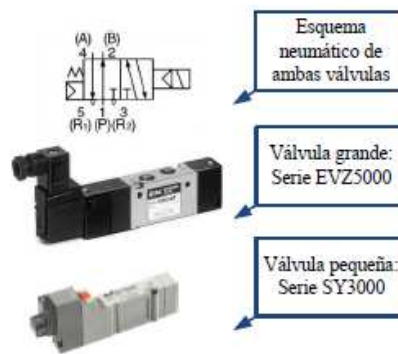


Figura 3-39 Válvulas neumáticas.

Tabla 3-5 Características válvulas.

Atributo	Valor	
	EVZ5000	SY3000
Presión de funcionamiento (bar)	1.5-7	1.5-7
Tiempo de respuesta (ms)	20	12
Frecuencia máxima de operación (Hz)	10	10
Voltaje de solenoide (Vdc)	24	24
Consumo (W)	1.8	0.35
Peso (g)	120	57

- Bombas de vacío**

Se trata de un generador de vacío ZH10B de SMC que combina la sencillez de diseño con un alto rendimiento. En la figura 3-40, mediante el suministro de aire comprimido por el puerto P se logra generar vacío en el puerto V por efecto Venturi.

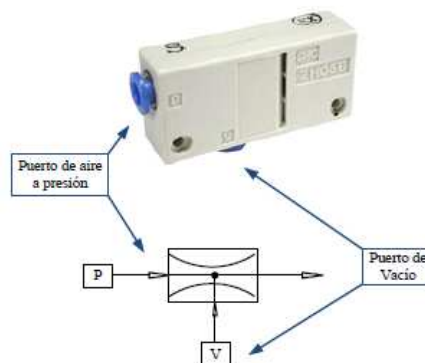


Figura 3-40 Bombas de vacío.

Estos generadores son a menudo más pequeños y más ligeros que los voluminosos generadores centrales de vacío, además de proporcionar una respuesta más rápida. Un silenciador colocado en el escape mantiene el ruido al mínimo. En la tabla 3-6, se resumen algunas de sus características principales:

Tabla 3-6 Características bombas de vacío.

Atributo	Valor
Diámetro boquilla (mm)	1.0
Tipo caja	Con silenciador
Depresión máxima (kPa)	-48
Caudal máximo de succión (l/min)	34
Consumo de aire (l/min)	46
Peso (gr)	33

- **Interruptores de presión**

Se trata de un modelo de interruptor de presión ajustable de la serie F4 de la marca FOX basado en un micro interruptor que se acciona cuando se alcanza la presión preconfigurada mediante un tornillo localizado en el centro del interruptor. En la figura 3-41 se observa el interruptor destacando los dos tipos de conexiones: las patillas numeradas del uno al tres corresponden con señales eléctricas mientras que la señal P corresponde con la señal neumática.

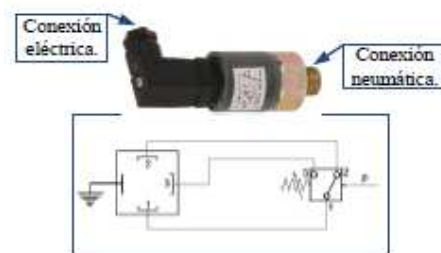


Figura 3-41 Interruptor de presión.

La patilla 1 se conecta con la 3 cuando se alcanza el valor de presión configurado, permaneciendo conectada a la patilla 2 en caso contrario. De esta manera se consigue cambiar el valor de la señal eléctrica 1 mediante una señal neumática P. En la tabla 3-7 se resumen algunas de sus características más importantes del interruptor de presión:

Tabla 3-7 Características interruptor de presión

Atributo	Valor
Gama de ajuste de presión	0.2 - 2.5bar
Conexión	1/4 in. BSP
Peso	50 gr
Contacto nominal DC	0.15A 110 V(dc)
Contacto nominal AC	0.5A 250 V(ac)
Presión de funcionamiento máxima	25bar
Frecuencia máxima de funcionamiento	60ciclos/min
Método de ajuste	Roscada
Precisión	±4% of Set Pressure

- **Regulador de presión**

Se trata de un regulador de Legris de la serie LF3000, montado en un cilindro que reduce la presión de alimentación en una dirección de movimiento. Optimiza el rendimiento del sistema al mismo tiempo que conserva la valiosa energía del aire comprimido, sus características principales se muestran en la tabla 3-8. Para simplificar la configuración consta de un tornillo calibrado de ajuste de presión como se puede observar en la figura 3-42:



Figura 3-42 Regulador de presión.

Tabla 3-8 Características regulador de presión.

Atributo	Valor
Presión de entrada máxima	16bar
Presión de salida	1 to 8bar
Peso	50 gr
Puerto de entrada de suministro	G 1/8
Tamaño de puerto de salida	4mm
Montaje en panel	No
Peso	38 gr

• Sistema de refrigeración

Como se comento anteriormente en la descripción del motor brushless, es necesario un sistema para la refrigeración de los devanados del estator del motor. Hay que mantener la temperatura en un rango óptimo de funcionamiento entre 50° y 60°, controlando que nunca se excedan los 80°. Para ellos se ha escogido el sistema de refrigeración Coolmates 3 de la marca Miller, recomendado por PushCorp, fabricante del servomotor brushless, ver figura 3-43 y tabla 3-9[20].

- Diseño compacto horizontal que permite su apilamiento y un montaje conveniente.
- Refrigerador de tamaño mediano, pesa 18kg vacío.
- Dispone de interruptor de encendido y apagado, paleta indicadora del flujo de refrigerante, filtro y orificio de llenado del depósito, todo en la parte frontal.
- Depósito de refrigerante de polietileno moldeado, ventilador y boquilla de llenado inoxidable.
- Eficientes tubos y aletas intercambiadores de calor.
- Motor HP ¼ protegido frente a sobrecalentamientos.
- Bastidor es de latón, y dispone de una bomba de paletas rotativa que proporciona el desplazamiento coherente del flujo refrigerante con la presión esperada.



Figura 3-43 CoolMate 3

Tabla 3-9 Características sistema refrigerador.

Voltaje de entrada 50/60 Hz	Corriente máxima 50/60Hz	Capacidad máxima de refrigeración	Media de refrigeración	Capacidad del deposito	Dimensión (mm)	Peso neto
230 VAC	2,5A/3,0A	3,82 KW 4 L/min	1,42 KW 1 L/min	11,4 L	Largo: 584 Ancho: 311 Alto: 337	20 Kg



4 DISEÑO E IMPLEMETACIÓN DE LA **APLICACIÓN**

4.1. Diseño hardware

En este apartado se describirán todos los diseños físicos necesarios para la implementación del sistema de control y monitorización de la herramienta de mecanizado, mediante el sensor AFD70-1.

4.1.1. Diseños realizados para el área del sistema robótico

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, el área del sistema robótico está compuesta por el robot y las herramientas [1,15].

4.1.1.1. Herramienta de mecanizado

Se ha desarrollado e implementado el control de la herramienta de mecanizado, mediante el sensor de fuerza AFD70-1, otorgando una mayor flexibilidad de fabricación a la célula. Con esta herramienta se pueden hacer trabajos de fresado, corte o taladrado, pero con cambios sencillos en el útil se podría también hacer remachado o atornillado. Para la consecución y el correcto funcionamiento del control de fuerza presente en esta herramienta de mecanizado, se han utilizado diversos componentes descritos anteriormente en el capítulo 3. Se van a descomponer en dos grupos, elementos internos y elementos externos.

Algunos elementos no han sido diseñados e implementados en la ejecución de este proyecto de fin de carrera, pero es necesaria una breve descripción para situar el objetivo de este proyecto.

Elementos internos, es decir los propios de la herramienta de mecanizado, serían los dispositivos físicos localizados en el extremo del robot:

- Útil de trabajo: fresa, taladro, disco...etc.
- Sensor de fuerza AFD70-1 (Objeto de este proyecto)
- Regulador de presión serie LF3000

Elementos externos o auxiliares, se trata de dispositivos imprescindibles para el correcto funcionamiento de la herramienta, que se encuentran descentralizados de la propia herramienta y que se conectan a esta a través del robot. Estos son:

- Sistema de monitorización del sensor AFD70-1 de la herramienta de mecanizado, principalmente mediante el uso del controlador analógico B30A40AC y del conversor analógico-digital 787-503 de la marca Wago.
- Sistema neumático.

- **Anclaje físico de los elementos**

La herramienta de mecanizado necesita un ensamblaje efectivo entre sus diferentes dispositivos que otorguen a la misma la capacidad de un funcionamiento eficaz y seguro en condiciones máximas de trabajo. Esto significa, por ejemplo, que el sistema debe integrar entre sí dos unidades pesadas. El SM3002 y el AFD-71 pesan 3Kg y 7.7 Kg respectivamente, con lo cual el sistema debe ser resistente. También hay que tener en cuenta que la punta al realizar procesos de mecanizado a gran velocidad transmite una gran vibración al servomotor, y en consecuencia la herramienta total. Por ello el sistema debe ser extraordinariamente rígido. Mediante una vista explosionada, como la que se muestra en la figura 4-1, se puede entender fácilmente esta serie de anclajes.

Para acoplar el motor SM3002 al sensor AFD70 se utilizan dos bridas, una superior y otra inferior. La primera es un ángulo que actúa principalmente como posicionador del motor, de tal forma que el servomotor queda anclado a la altura que se necesite. Para ello se utilizan dos tornillos M6 en el anclaje de la brida al sensor y otros 2 de diámetro 5,5 pasantes para el anclaje del motor a la brida. La brida inferior se utiliza para amarrar el motor, de esta forma se proporciona la mayor rigidez en la parte que transmite mayores vibraciones. Para ellos la brida doble circular se adapta perfectamente a contorno del motor, que aprieta mediante un tornillo M6. A su vez queda unida al sensor por otros dos tornillos iguales.

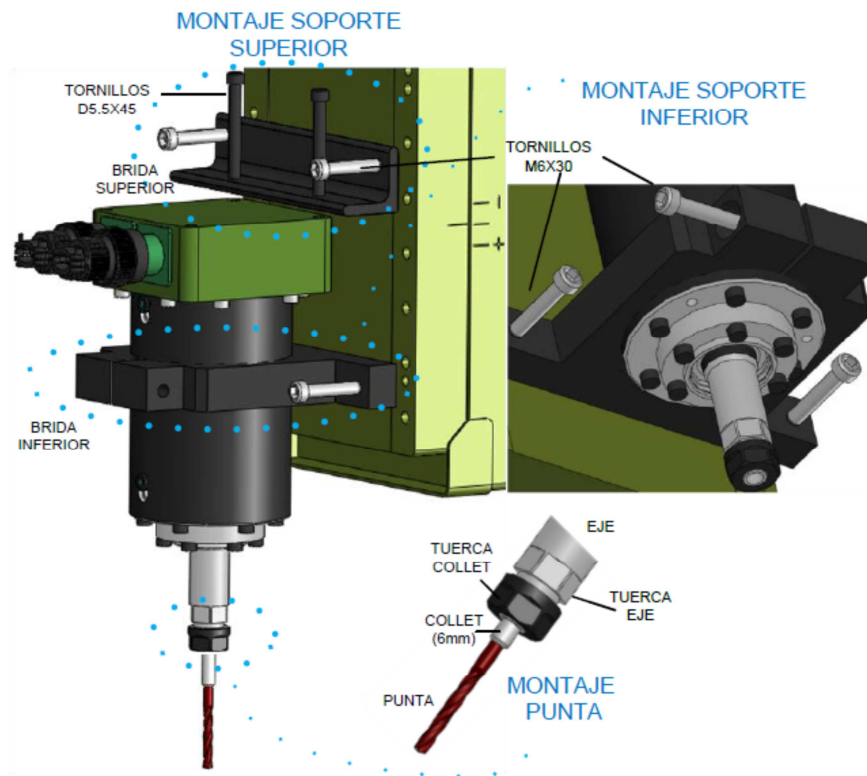


Figura 4-1 Anclaje de la herramienta de mecanizado

- **Circuito eléctrico de control y alimentación**

Para el funcionamiento de la herramienta de mecanizado es necesario el uso adecuado de las señales eléctricas, este viene regulado por un sistema de control.

Para el funcionamiento del servo-motor brushless SM3002 se hace un uso combinado del módulo de E/S del IRC5, del sistema de control B30A40AC y del convertor digital/analógico KR-12BIN/10-0.

Para el funcionamiento y monitorización del sensor de fuerza AFD-71 se hace un uso combinado del módulo de E/S del IRC5 y del convertor analógico/digital 787-503 de la marca Wago. En este apartado únicamente se hace referencia a las implementaciones necesarias para el control y funcionamiento del sensor, si bien se incluirán figuras y tablas en las que podremos ver el sistema completo formado por el sensor, y el servomotor.

El esquema de control para el funcionamiento del sensor de fuerza es el mostrado en la figura 4-2.



Figura 4-2 Esquema de conexionado del sensor de fuerza AFD70-1.

Básicamente el funcionamiento del flujo es el siguiente:

- El sensor fuerza proporciona una señal de salida, en función del desplazamiento del sensor sobre su eje, siendo esta una corriente que se incrementara proporcionalmente con el desplazamiento.
La corriente es mínima cuando el sensor se encuentra en la posición inicial (reposo), o lo que es lo mismo, la fuerza que ejercida por el material no supera la fuerza de la gravedad; Siendo máxima, cuando el sensor se encuentra en su posición más desfavorable, es decir su posición de desplazamiento máximo.
- Esta señal pasa por un conversor analógico/digital a la no disposición de una tarjeta de entrada de señales analógicas.
- Tras la conversión de la señal de salida analógica a digital, conocemos el valor del desplazamiento del sensor y por tanto la posición del mismo, y estos datos son introducidos como entradas al controlador IRC5.
- En función de los valores de las entradas asignadas para el control del sensor, podemos modificar la posición del robot y por tanto controlar la fuerza a aplicada.

A continuación se va a explicar con mayor detalle el funcionamiento anteriormente expuesto, siendo el orden el siguiente:

- Conexiones necesarios en la herramienta de mecanizado
- Control del sensor mediante el ADC787-503.
- Ajuste de la posición mediante el ADC787-503.

- **Conexiones necesarios en la herramienta de mecanizado**

Antes de proceder a ningún diseño o implementación se debe conocer exhaustivamente las señales que intervienen en el funcionamiento de la herramienta de mecanizado. Simplemente se mostrara el uso in de todas las señales, alimentación y control. Se ha procedido a la conexión del cableado necesario para el uso adecuado del sensor de fuerza. A la herramienta de mecanizado llegan todas las señales eléctricas procedentes de un conector R19, se encuentran todas en el mismo conector de tal forma que luego se bifurcan por conectores para su utilización, como podemos ver en la figura 4-3:

- Conector R10: Se trata de las señales de realimentación del sensor.
- Conector R8: Señales de potencia que controlan las fases del estator.
- Conector R6: Son las señales necesarias para el uso del sensor de fuerza.

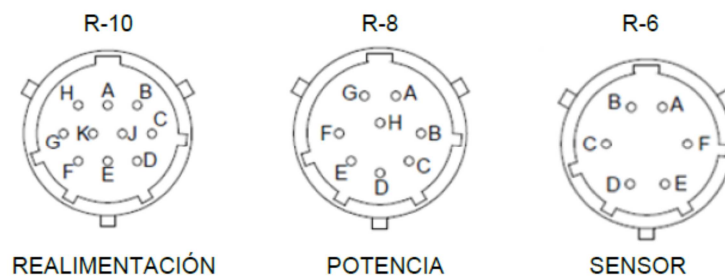


Figura 4-3 Conectores de la Herramienta de mecanizado

La explicación de los conectores es la siguiente:

- Conector R10: Es el conector de realimentación del motor. Como se observa de los 10 pines útiles solo se emplean 7. Los pines A y B se utilizan para alimentar los sensores, utiliza una señal continua de 5v en A y otra de 0v en B. Los pines C, D y E, son las señales de los HALL, es decir las que muestran la posición del rotor (de imán fijo) respecto al estator. Entre los pines F y G se puede medir una diferencia de tensión, y mediante una ecuación se obtiene la temperatura en la que se encuentra el motor.

- Conector R8: Con ese conector se alimenta el motor, es decir, se proporciona la tensión adecuada a cada fase para un giro correcto del rotor. Según sea el nivel de tensión a la que se alimenta se inducirá un campo magnético mayor o menor. De esta forma se actuara directamente sobre la velocidad de giro del motor. Los pines A, B Y C son las alimentaciones de las fases A, B y C del estator respectivas. El pin D es la tierra común a todas las anteriores fases.
- Conector R6: Mediante este conector se sustenta al sensor del conexionado básico para su funcionamiento. La alimentación es el pin V+, señal de 24 v de corriente continua, y se observa la salida en el pin E, POSN, que proporciona la posición de la parte móvil del sensor, lo que se traduce en la fuerza que se ejerce. El pin B es la masa común o referencia, y el C la toma de tierra del sistema. Aquí se conecta el apantallado del cable.

El suministro de las señales de alimentación y la comunicación en las señales de realimentación se realizan a los equipos a través del sistema eléctrico del Toolchanger. De esta forma se conecta cualquier señal eléctrica con el exterior. La forma de conectar todas las señales se verá en el apartado de circuito eléctrico completo del área robótica. En el siguiente esquema de señales, figura 4-4, se pueden observar las conexiones de todas las señales de los respectivos conectores al Toolchanger mientras que en la tabla 4-1, situada en la parte inferior del esquema se encuentran las diferentes correspondencias entre las señales del R19 (Toolplate) y su respectivo conector de destino.

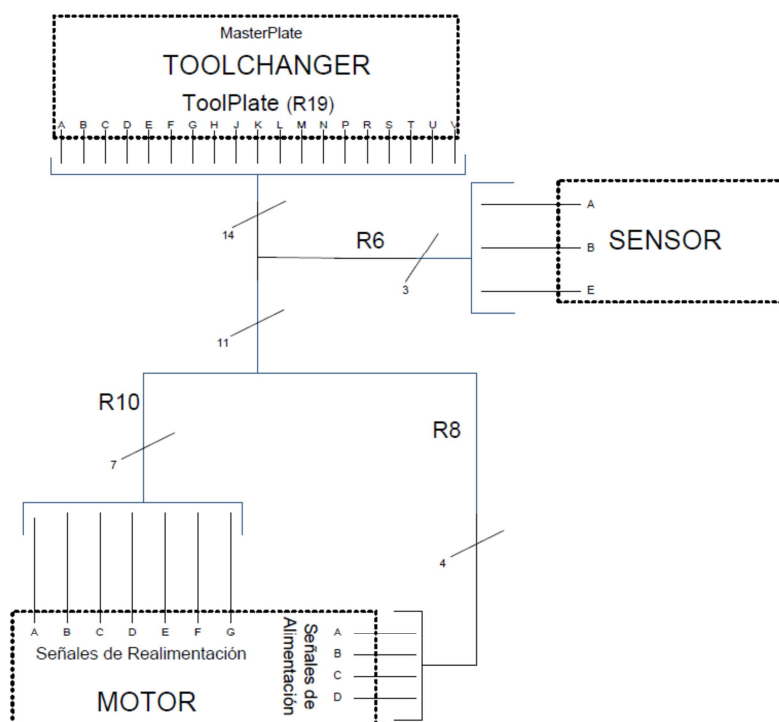


Figura 4-4 Conexión de la herramienta de mecanizado

Tabla 4-1 Colores cable señales herramienta de mecanizado

PIN R19	SEÑAL	COLOR CABLE	CON. 10P	CON. 8P	CON. 6P
A	MOTOR A	Marrón, Gris-Blanco, Gris		A	
B	MOTOR B	Marrón, Amarillo-Amarillo		B	
C	HALL A	Blanco, Amarillo	C		
D	HALL B	Marrón, Verde	D		
E	HALL C	Blanco, Verde	E		
F	HALL	Blanco, Negro	A		
G	MOTOR C	Rojo, Azul-Marrón, Rojo		C	
H	HALL	Blanco, Rojo	B-K		
J	TERMISTOR	Marrón, Azul	F		
K	TERMISTOR	Azul, Blanco	G		
P	SENSOR	Violeta			A
R	SENSOR	Blanco			B
A	SENSOR	Marrón			E
T	SENSOR	Rosa			F
V	GND	Rojo, Negro		D	

- **Conversión de la señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1 mediante el ADC787-503**

Se ha elegido una configuración individual con modo de conversión continua, como se muestra en la figura 4-5, debido a que para un correcto control de la aplicación debemos estar continuamente recibiendo los valores del sensor; el conversor nos proporciona diez bits de salida, de los cuales solo se han utilizado los 8 más significativos, por lo que en un futuro se podría implementar un sistema de activación de conversión sin ninguna dificultad.

Un nivel alto provoca la conversión digital de los datos en el bus, mientras un nivel bajo inactiva los conductores del bus, lo que permite la transmisión de datos al bus de datos y por tanto la conversión interna de la señal se está produciendo de manera continua [18].

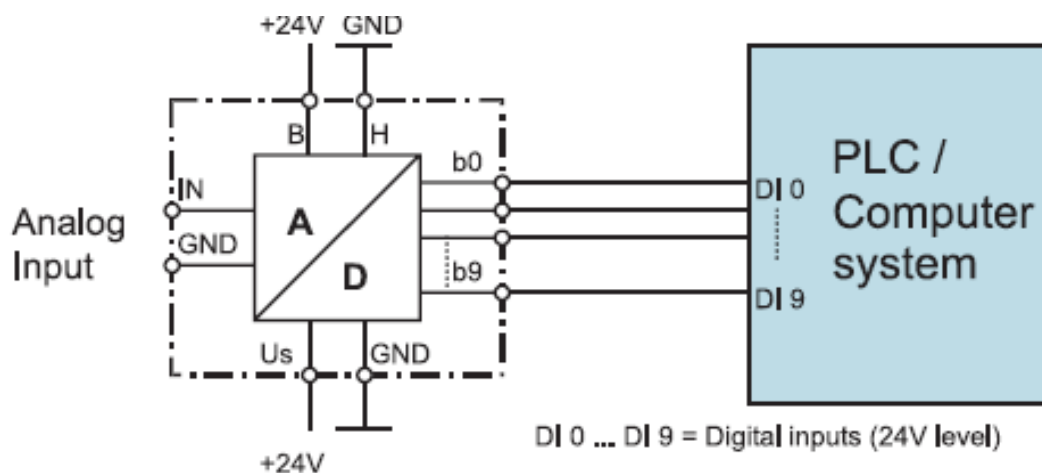


Figura 4-5 Configuración del ADC

- **Obtención de la posición mediante el ADC787-503.**

Mediante la señal POSN del sensor AFD70-1 podemos conocer fácilmente la posición del sensor. El control del sensor se rige por la figura 4-6.

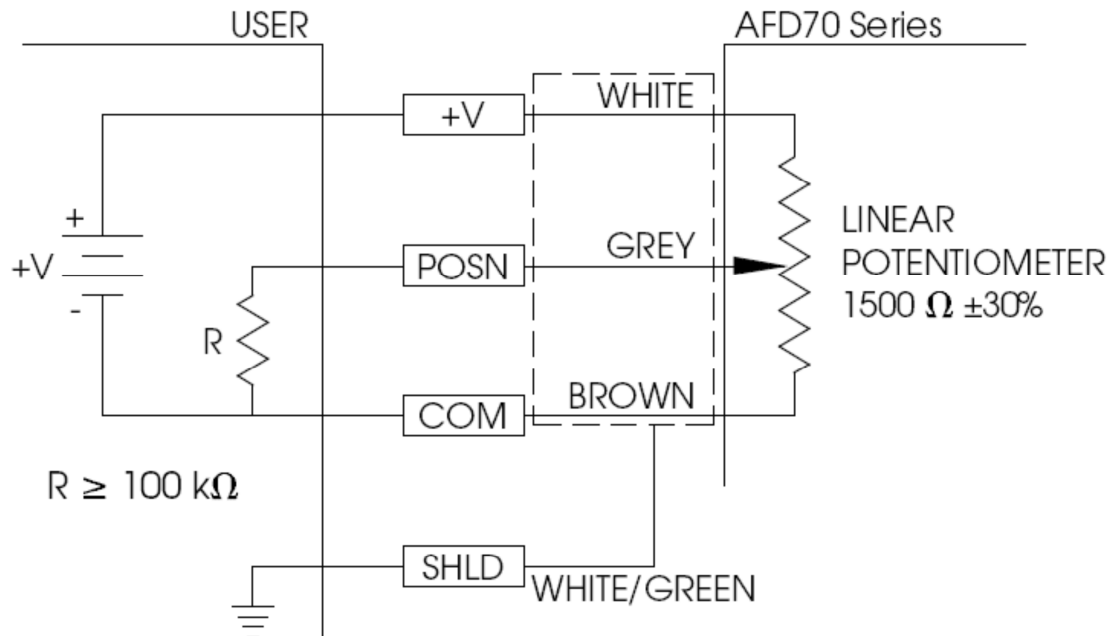


Figura 4-6 Conexión del potenciómetro del sensor AFD70-1

Como se indico con anterioridad el sensor de fuerza se puede desplazar 20 mm sobre su eje, y en función de su posición, por la señal POSN circulara una corriente mayor o menor, siendo máxima cuando el desplazamiento es máximo y mínima cuando el sensor se encuentra en su posición de reposo, sin desplazamiento.

La señal POSN varía entre 20mA y 80mA, como nuestro conversor ADC solo soporta señales de entrada entre 4mA y 20mA, es necesario reducir la intensidad previamente antes de convertirla, para ello se hace pasar por un divisor de corriente 4 a 1 la señal POSN, y por tanto conseguimos ajustarnos a los valores de trabajo del conversor ADC indicados por el fabricante.

El conversor ADC nos proporciona 10 bits de salida con una resolución de 15.6uA, debido a las necesidades del proyecto, solo usamos 8 bits de los 10 posibles, en consecuencia nuestra resolución es de 62.5uA, que como comprobaremos en el capítulo 6 será suficiente para el correcto funcionamiento de nuestra aplicación.

Los motivos de prescindir de estos dos bits menos significativos son las siguientes:

- Para nuestro rango de valores la resolución obtenida al prescindir de dos bits no afecta al control del sensor.
- Dejamos la posibilidad abierta para que en un futuro se pueda implementar un sistema para controlar la conversión, que actualmente es continua.
- Liberamos entradas digitales en el controlador IRC5 para futuras aplicaciones, puesto que con la integración de este convertidor estarían ocupadas diez de las dieciséis entradas posibles.

En la figura 4-7 podemos ver el conexionado necesario para el control de la posición del sensor AFD70-1.

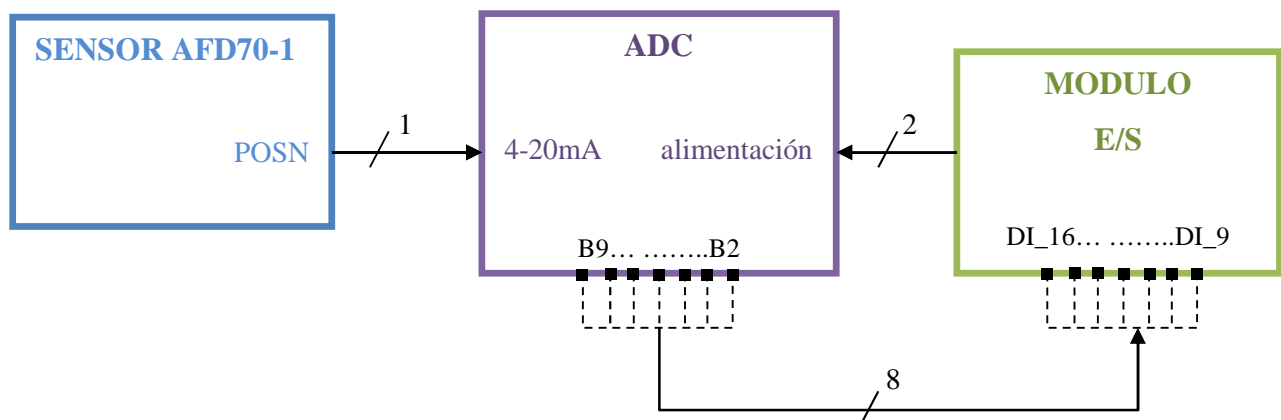


Figura 4-7 Funcionamiento del ADC

- **Circuito neumático**

Para la instalación neumática del sensor de fuerza conviene tener en cuenta las especificaciones y pasos descritos en el Capítulo 3 con detalle y las características principales del suministro de aire, que son las siguientes:

- Aire seco no lubricado, con filtrado de 5micras.

La red de aire comprimido de la Universidad Carlos III nos proporciona ya aire seco, no lubricado, con una presión mínima de 10 bares que mediante el regulador del laboratorio dejamos en 7 bares para el correcto funcionamiento de todos los elementos neumáticos. La figura 4-8 podemos ver este esquema.

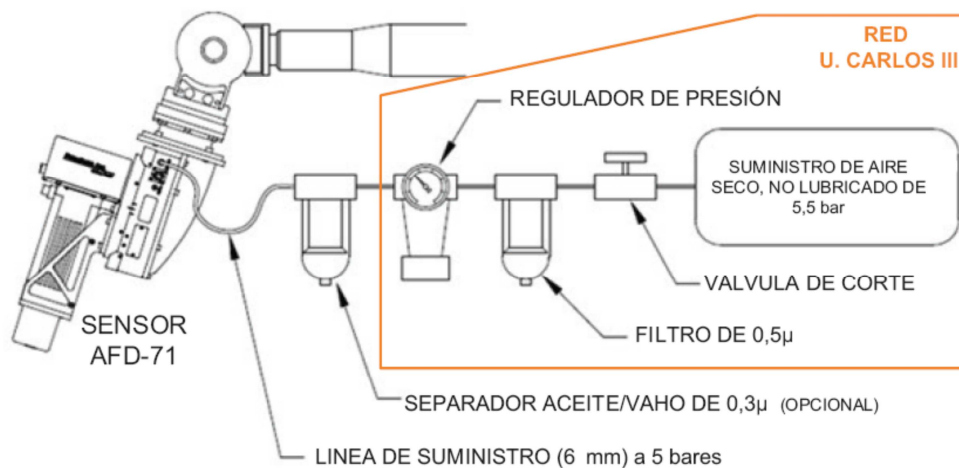


Figura 4-8 Esquema conexión neumática AFD70-1

- Presión de suministro menor de 5,5 bares.

Es necesario un regulador de presión para pasar de un suministro en la estación de 7 bares a los 5,5 bares de trabajo del sensor, esto se consigue empleando el regulador manual, de la serie LF3000 de Legris. En la figura 4-9 podemos ver un esquema del circuito neumático.



Figura 4-9 Circuito neumático, suministro-regulador-sensor

- **Refrigeración del motor**

El motor demanda un sistema de refrigeración debido a la facilidad para calentarse. Como se indica en las especificaciones se debe salvaguardar su seguridad y evitar sobrecalentamientos, además de que el motor dispone de un modo de apagado a partir de una temperatura elevada. El líquido de refrigeración llega a la herramienta mediante el conector hidráulico del Toolchanger. El circuito de refrigeración únicamente dispone de dos sentidos, el de líquido caliente y el de líquido frío. El sistema de refrigeración se conectara mediante la señal digital DO_16.

La herramienta de mecanizado con todos sus elementos, queda como se muestra en la figura 4-10:

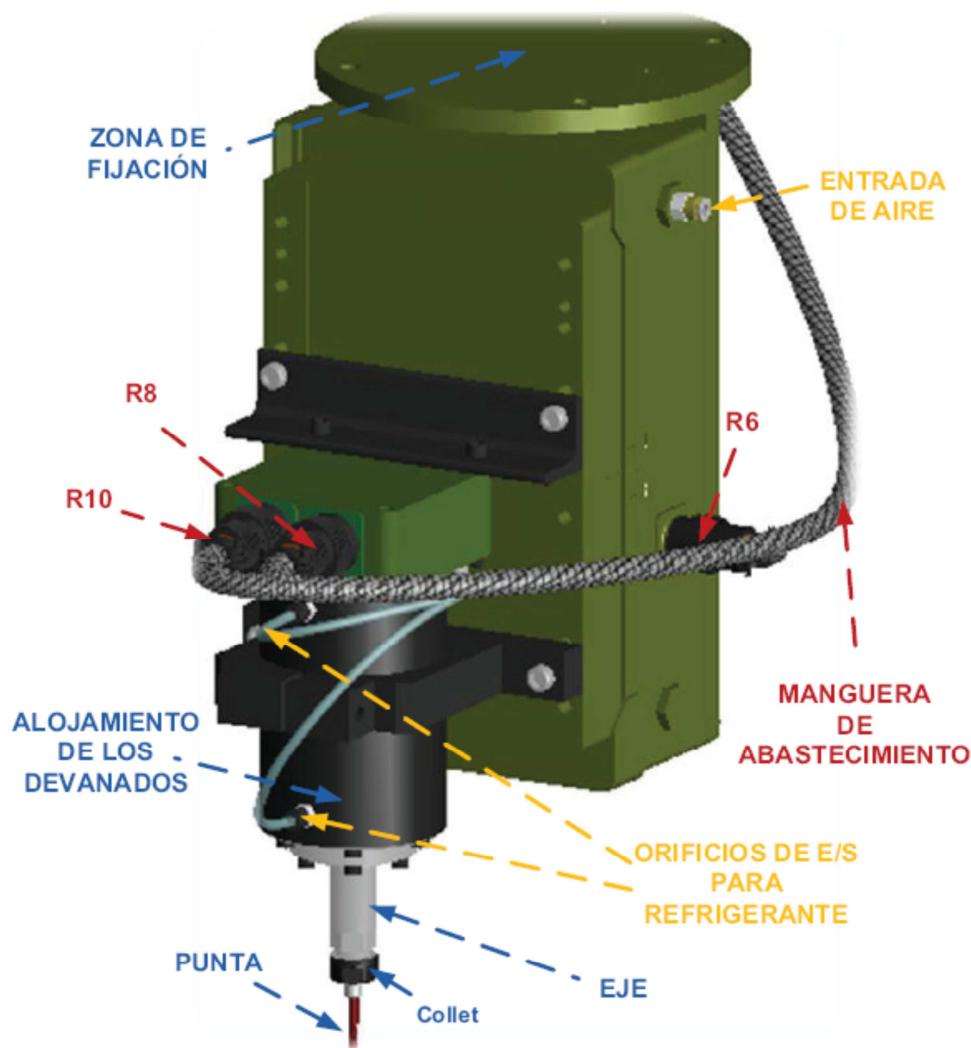


Figura 4-10 Elementos de la herramienta de mecanizado

- **Modulo E/S del IRC5**

El IRC5 incluye una tarjeta PCI certificada por ABB. Esto hace posible montar las unidades de E/S dentro del armario o fuera de él, usando un cable o bus para conectar la unidad de E/S al armario, ya sea mediante la opción DeviceNet o Profibus DP. En nuestro caso se usa la opción DeviceNet, dentro de la cual ABB suministra una unidad de E/S digital de 24 VCC y que proporciona 16 entradas y 16 salidas. El límite de corriente que proporciona este módulo es de 8 A.

Es posible asignar señales a funciones de sistema especiales, como el inicio del programa, para poder controlar el robot desde un panel adicional o un PLC. Pueden utilizarse varias señales para una misma funcionalidad. Las entradas y salidas se han configurado para la adaptación a la célula:

- Asignación de señales para la funciones de las herramientas.
- Correlación de E/S
- Polaridad, nivel alto o bajo activo, para el uso del sistema de cambio de herramienta.
- Es posible agrupar y utilizar conjuntamente hasta 16 señales digitales como si se tratara de una sola señal, como en el caso de la salida del sensor de fuerza, mediante el grupo conversor que agrupa 8 entradas digitales.
- E/S virtual (para establecer conexiones cruzadas o condiciones lógicas sin necesidad del hardware físico).
- Coordinación exacta con movimientos
- Las instrucciones de E/S se ejecutan de forma concurrente con el movimiento del robot.

El módulo de E/S es el DSQC 652, de ABB, se muestra en la figura 4-11.

Consta de 5 conectores y las conexiones se realizaran mediante las clemas del conector.

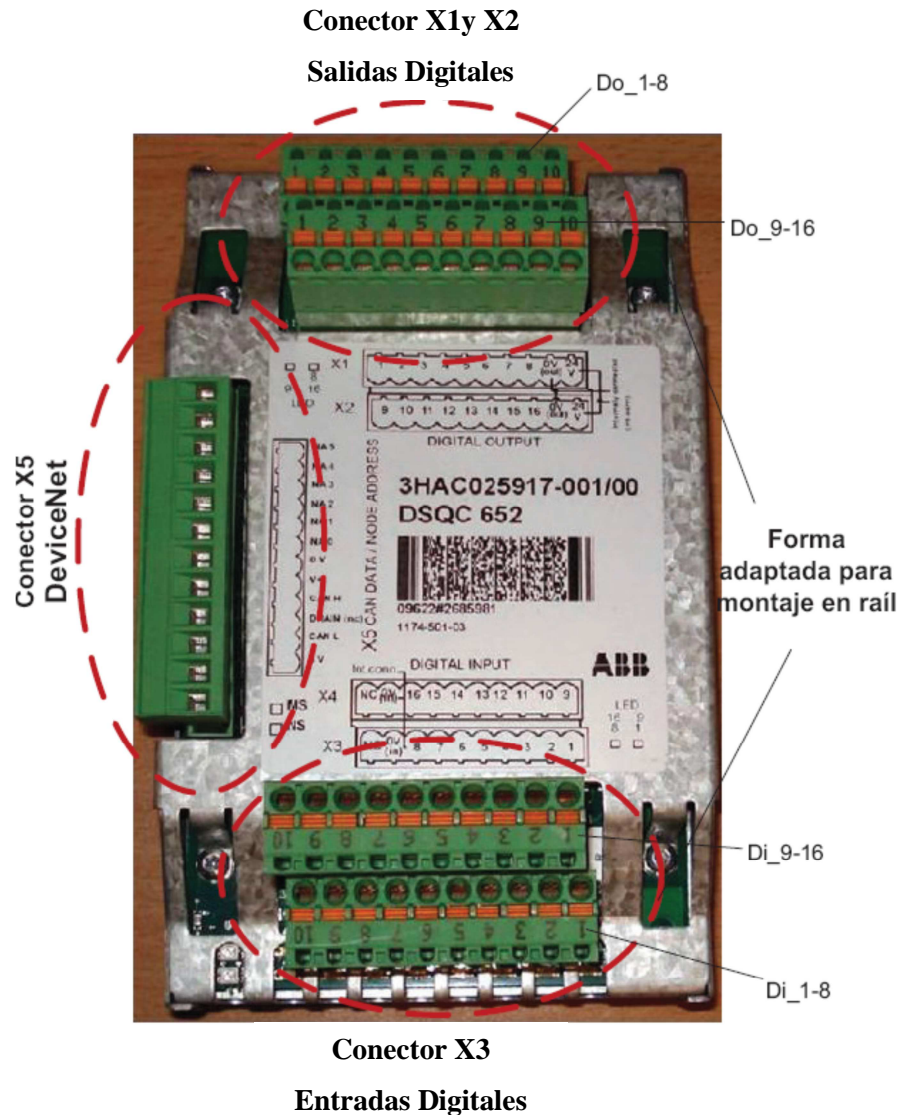


Figura 4-11 Esquema modulo E/S digital.

- Conector X1 y X2, son los conectores para las salidas digitales que se utilizan en la estación. Se usan todas las señales, de la 1-8 de X1 y de la 1-8 de X2. En total se proporcionan 16 señales digitales de salida. En los dos conectores se conecta por defecto 10 a +24VDC y 9 a 0VDC.
- Conector X3 y X4, son los conectores para las entradas digitales que se utilizan en la estación. La conexión es la misma que para X1 y X2.
- Conector X5, es el encargado de la conexión lógica del módulo de E/S al bus de campo DeviceNet. Este a su vez conecta el módulo de E/S con la CPU del IRC5. Mediante un código de colores de los leds se puede saber el estado en el que se encuentra el bus.

En las siguientes tablas, 4-2y 4-3, se muestra un resumen de los conectores X1-X2-X3-X4 módulo E/S. En el conector X5 se han dejado las conexiones que vienen por defecto.

Tabla 4-2 Función de las salidas digitales

SALIDAS DIGITALES DEL MODULO E/S				
Salida	Color cable	Activación (On/Off)	Conexión	Función
DO_1	Azul	1/0	V1	Acoplo/desacoplo herramienta
DO_2	Amarillo	1/0	V2	Vacío/Soplar garra
DO_3	Verde	1/0	V3	Abrir/Cerrar pinza
DO_4	Gris	1/0	V4	Soplar/Vacío
DO_5	Verde	1/0	V5	Área almacén
DO_6	Rojo	1/0	V6	Soplar/Vacío
DO_7	Rosa	1/0	V7	Área Trabajo
DO_8	Blanco-Rojo	1/0	V8	Activar/desactivar motor
DO_9	Azul	1/0	GO_1-6	Velocidad del motor 6 bits de resolución 0-69 bin -> 0-10v Bit más significativo; 14
DO_10	Rojo	1/0		
DO_11	Rosa	1/0		
DO_12	Morado	1/0		
DO_13	Verde	1/0		
DO_14	Negro	1/0		
DO_15	Blanco-Negro	1/0	V9	Activar/desactivar controlador
DO_16	Marrón-Rosa	1/0	V10	Activar/desactivar refrigeración

Tabla 4-3 Función de las Entradas digitales

SALIDAS DIGITALES DEL MODULO E/S				
Salida	Color cable	Activación (On/Off)	Conexión	Función
DI_1	Negro	1/0	Vident_1	Detección de herramienta
DI_2	Rojo	1/0	Vident_2	
DI_3	Sin conectar	1/0	V1-V8	Posición del sensor AFD70-1 8 bits de resolución (b2-b9) 0-256 bin -> 4-20 mA Bit más significativo DI_16
DI_4	Sin conectar	1/0		
DI_5	Sin conectar	1/0		
DI_6	Sin conectar	1/0		
DI_7	Sin conectar	1/0		
DI_8	Sin conectar	1/0		
DI_9	Gris	1/0		
DI_10	Gris	1/0		
DI_11	Gris	1/0		
DI_12	Gris	1/0		
DI_13	Gris	1/0		
DI_14	Gris	1/0		
DI_15	Gris	1/0		
DI_16	Gris	1/0		

En el área del sistema robótico es donde se concentran la mayoría de aplicaciones tanto hardware como software, es por tanto evidente que sea el área con mayor demanda del sistema de control. De esta forma, al llevar asociados el robot y todos los elementos, se hace uso del bus de conexión para el usuario entre el IRC5 y el IRB2400.

4.1.2. Diseños realizados para verificar el funcionamiento del control de la herramienta de mecanizado.

A continuación describiremos los elementos hardware diseñados para verificar el correcto funcionamiento del control del sensor de fuerza y por tanto dotar de las herramientas necesarias para comprobar la consecución de los objetivos de este proyecto final de carrera.

- **Perfil de madera**

En la figura 4-12 vemos el perfil de madera diseñado, el robot seguirá esta trayectoria modificando su posición en función de los valores del sensor de fuerza.



Figura 4-12 Perfil de madera

El perfil de madera diseñado tiene tanto subidas y bajadas como zonas donde la pendiente es nula. Para realizar el control de la herramienta de mecanizado en las condiciones más desfavorables, se ha procedido a diseñar las pendientes con distintos peraltes o inclinaciones.

- **Rueda**

Se ha adquirido una rueda pivotante con la parte superior fijada y una capacidad de carga de 50kg, mostrada en la figura 4-13, que se instalara en substitución de la broca actualmente instalada en la herramienta de mecanizado.



Figura 4-13 Rueda pivotante

En la figura 4-14 y en la tabla 4-4 podemos ver las dimensiones principales de la rueda elegida.

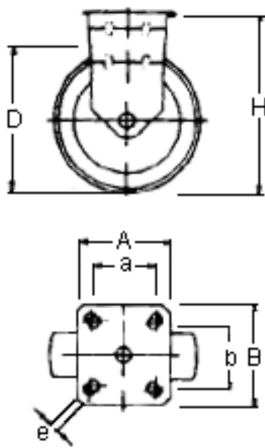


Tabla 4-4 Dimensiones de la rueda pivotante

Cota	Descripción	Dimensiones (mm)
AxB	Dimensiones del soporte	55x55
D	Diámetro de la rueda	50
H	Altura total	68
axb	Distancia entre agujeros	40x40
b	Ancho de la rueda	20
e	Diámetro del orificio central	6

Figura 4-14 Croquis de la rueda pivotante

4.2. Diseño software

En este apartado se describirán todos los diseños software necesarios para la implementación de nuestra aplicación, que tiene como punto de partida, la aplicación diseñada por David Torremocha en [2], que se verá actualizada para cumplir los requisitos demandados para el control y monitorización de la herramienta de mecanizado mediante el sensor de fuerza.

Para la actualización de la aplicación se ha utilizado RobotStudio, Robot Application Builder y Visual Studio 2005. Antes de entrar en detalle con cada uno de ellos hay que aclarar unos conceptos previos.

4.2.1. Herramientas software

4.2.1.1. RobotWare

RobotWare es un software que proporciona el conjunto de controladores que permiten hacer más productivo y reducir el coste de posesión y operación de un robot.

Al instalar RobotStudio, sólo se instala una versión de RobotWare. Para simular un sistema de RobotWare en concreto, se debe instalar en el PC la versión de RobotWare utilizada para ese sistema de RobotWare en particular. Un sistema de RobotWare consta de un conjunto de archivos que, al cargarlos en un controlador permiten todas las funciones para el control del robot. Las claves de RobotWare desbloquean las opciones de éste y determinan la versión de RobotWare a partir de la cual se creará el sistema.

Existen tres tipos:

- La clave de controlador, que especifica el controlador y las opciones de software.
- Las claves de accionamiento, que especifican los robots del sistema. El sistema cuenta con una clave de accionamiento para cada robot que utiliza.
- Las claves de las opciones adicionales, que especifican las opciones adicionales.

- Una clave virtual permite seleccionar cualquier opción de RobotWare que desee, pero con ésta sólo puede usarse en entornos virtuales como RobotStudio.

La versión de RobotWare para IRC5 se representa mediante 5.xx, siendo xx la versión utilizada.

4.2.1.2. RAPID

Es el lenguaje usado para la programación del robot. Una aplicación de RAPID contiene una secuencia de instrucciones que controla el robot, de forma que realice las operaciones para las que ha sido instalado. El lenguaje RAPID se basa en el inglés y permite ejecutar instrucciones para activar o desactivar salidas, leer entradas, tomar decisiones o comunicarse con el operador del sistema entre otras funciones. La estructura de una aplicación RAPID se muestra en la Figura 4-15.

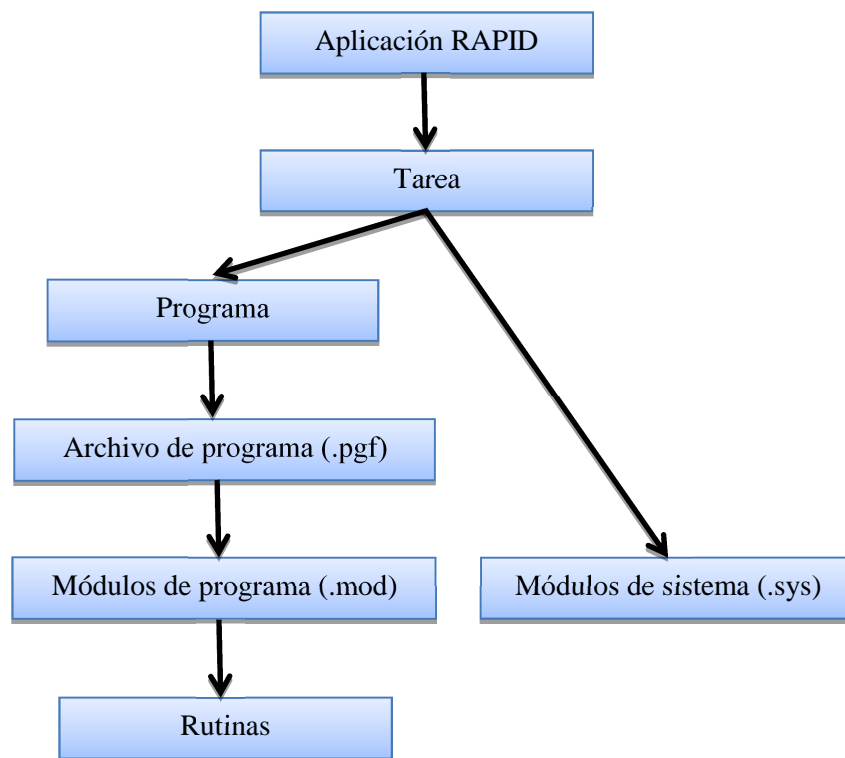


Figura 4-15 Estructura de una aplicación RAPID.

4.2.1.3. RobotStudio

RobotStudio es una herramienta software que permite la programación del robot en un PC, con un controlador virtual que es una copia exacta del controlador real. Esto permite programar el robot offline, sin necesidad de parar la producción. Por tanto, es una herramienta que aumenta la productividad para los usuarios de robots, ya que reduce riesgos, permite verificar virtualmente tanto la fabricación de útiles y herramientas como la realización de otras tareas, y reduce tiempos, hoy en día no se puede retrasar una producción por la programación de las nuevas tareas.

Para empezar a trabajar con RobotStudio es necesario tener instalado RobotWare. RobotStudio 5.13 es la principal plataforma software que se ha utilizado para la simulación y prueba de la aplicación durante su desarrollo. En la Figura 4.16 se muestra una vista de la interfaz de RobotStudio 5.13.

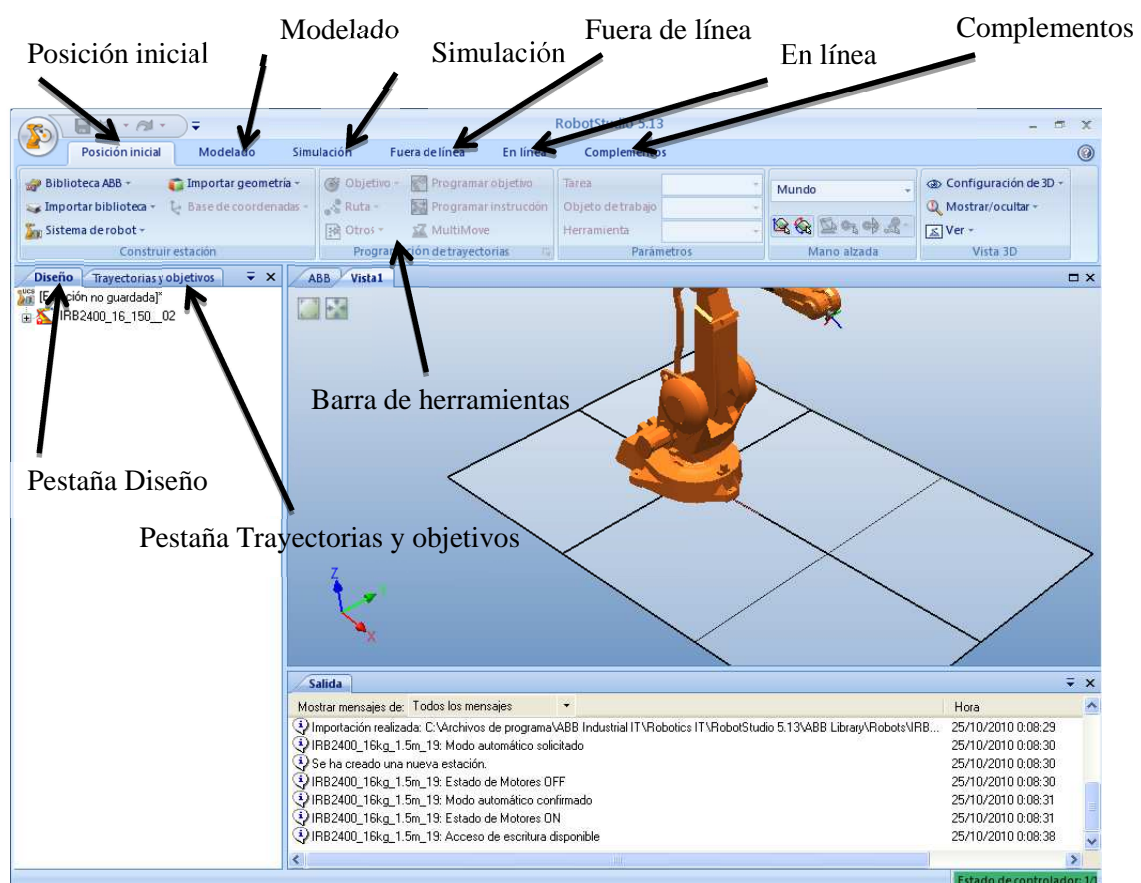


Figura 4-16 Interfaz de RobotStudio 5.13.

4.2.1.4. Robot Application Builder

Robot Application Builder (constructor de aplicaciones de robots) es un kit de desarrollo de software (SDK) creado por ABB para crear toda clase de interfaces de operario personalizadas para el control y la supervisión de robots. Estas interfaces se comunicaran con el IRC5, ejecutándose en el FlexPendant o en un PC con el sistema operativo Microsoft Windows.

Por ello el kit incluye dos componentes para cada una de las plataformas:

- FlexPendant SDK
- PC SDK

Las aplicaciones creadas a través de FlexPendant SDK se cargarán en la pantalla táctil del FlexPendant directamente mientras que las aplicaciones PC SDK se ejecutarán en un PC y se comunicaran con el robot a través de la red.

Al instalar Robot Application Builder en el disco duro del PC se instalan unos manuales, que sirven de referencia a la hora de realizar las aplicaciones, y unas librerías que se encuentran en “C:\Program Files\ABB Industrial IT\Robotics IT\SDK\” y que son necesarias para el desarrollo de las aplicaciones, puesto que hay que referenciarlas a la hora de programar.

Para el desarrollo de interfaces con Robot Application Builder se utiliza Visual Studio, herramienta muy utilizada en el mundo de la programación, y se programa con ayuda de la tecnología .NET desde RAB SDK 5.11 soportado en Visual Studio 2008.

En este caso para el desarrollo de la aplicación PC SDK se ha utilizado Microsoft Visual C# 2008 Express Edition y la programación se ha llevado a cabo mediante C#.

4.2.1.5. Microsoft Visual C# 2008

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para sistemas operativos Windows que permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET.

Para este proyecto se ha utilizado Visual C# Express Edition 2008 para la creación de formularios Windows Forms que son los que forman la interfaz que conectará al usuario final con el robot. A continuación se procede a describir el entorno de desarrollo, el cual se muestra en la Figura 4-17.

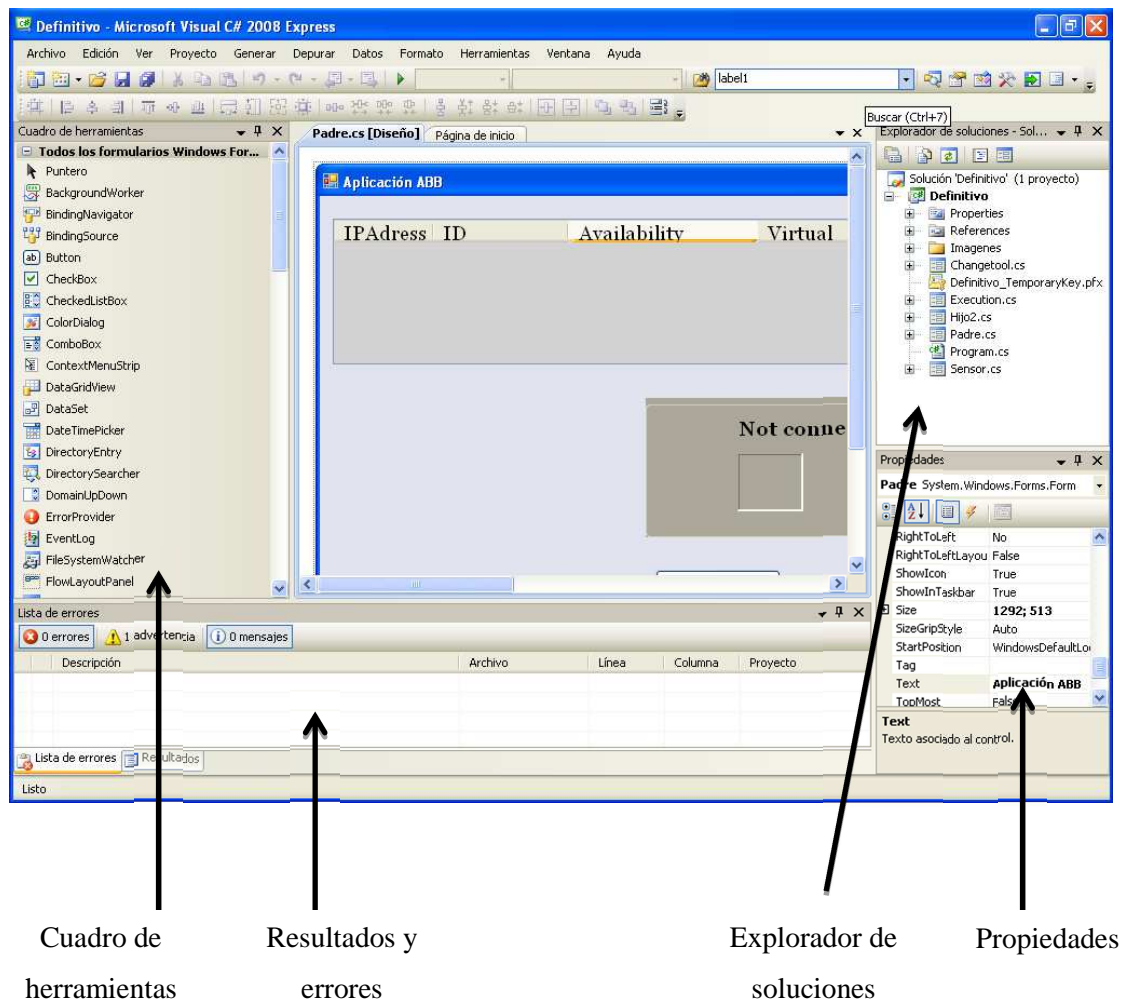


Figura 4-17 Entorno de desarrollo de Visual C# 2008

4.2.2. Modificación de la interfaz de usuario

La interfaz de usuario para el cambio automático de herramienta, diseñada por David Torremocha [2], está compuesta por una ventana principal y dos secundarias: la interfaz para el cambio de herramienta y la interfaz para ejecutar los programas. Esta aplicación permite realizar tanto el cambio automático de herramientas como la ejecución de los programas previamente cargados.

En el desarrollo de este proyecto se actualizara la aplicación, completando la parte prediseñada para el sensor de fuerza, añadiendo y modificando las variables asignadas por David Torremocha, para mostrar el desplazamiento de la herramienta de mecanizado en función de la fuerza aplicada sobre ella.

4.2.2.1. Interfaz principal

En la ventana principal aparece una lista con los controladores encontrados, un grupo de indicadores que muestran el estado del controlador, junto con el modo de funcionamiento y el estado de los motores. Esta ventana también consta de dos botones: Cambio de Herramienta y Ejecutar un programa. Ésta se muestra en la Figura 4-18, en la cual está conectado al controlador real PcI_55316 con dirección IP 192.168.125.1.



Figura 4-18 Interfaz principal de la aplicación.

4.2.2.2. Interfaz de Cambio de Herramienta

El botón *Cambio de Herramienta* de la ventana principal abrirá una segunda ventana que permitirá el cambio de herramienta, figura 4-19.

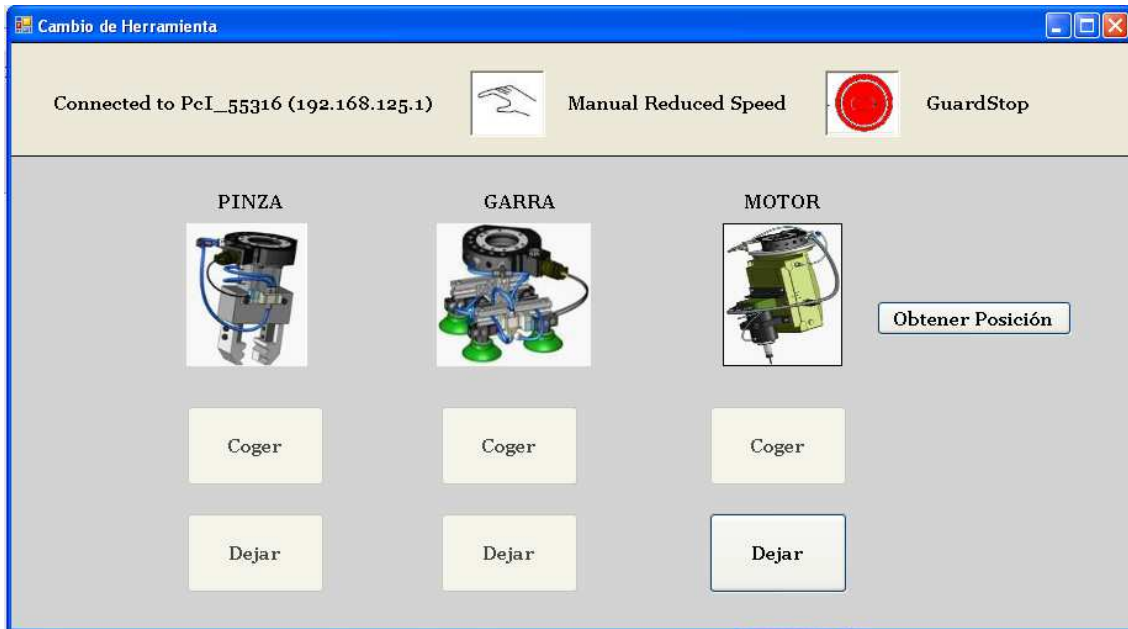


Figura 4-19 Interfaz de Cambio de Herramienta.

Al pulsar el botón *Obtener posición* se abrirá otra ventana, figura 4-20, que en el caso de encontrarse montada la herramienta de mecanizado, podremos conocer la posición del taladro, datos que conoceremos mediante el control de la herramienta de mecanizado.

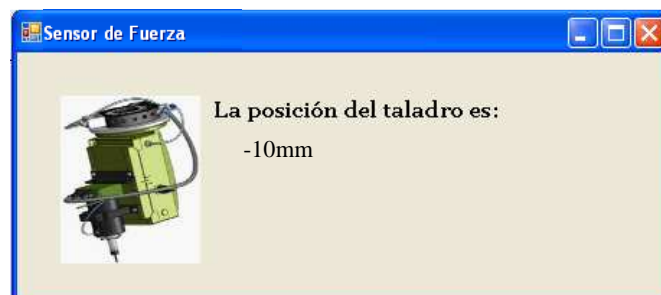


Figura 4-20 Ventana de posición del Sensor.

4.2.2.3. Obtención y actualización del valor de las señales

Se han remplazado las señales prefijadas por la señal conversor. Esta señal ha sido creada para agrupar las salidas del sensor de fuerza y poder analizar los resultados del sensor. Mediante esta señal obtenemos un numero decimal resultante de la activación/desactivación de las señales que la componen (DI10_9 a DI10_16).

Para obtener el valor de la señal conversor, es necesario el código mostrado a continuación:

```
Signal conversor = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("conversor");  
DigitalSignal conv= (DigitalSignal)conversor;  
conv= (int)conv.Value;
```

El entero conv muestra el valor de la señal “conversor”. Si la señal cambia, para actualizarla hay que subscribirse a un evento de cambio, mediante el siguiente código:

```
//Subscripción a un evento por si la señal conversor cambia.  
conversor.Changed += new EventHandler<SignalChangedEventArgs>(conv_SignalChanged);
```

```
//Si conversor cambia invocamos una función que actualice su valor.  
void conv_SignalChanged(object sender,  
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)  
{  
    if (this.InvokeRequired)  
    {  
        this.Invoke(new EventHandler<SignalChangedEventArgs>(conv_UpdateSignal), new Object[]  
{ this, e });  
    }  
}  
private void conv_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState convState = e.NewSignalState;  
    convdate = (int)convState.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}
```


Una vez realizado esto, el entero convdate muestra el valor actualizado de la señal en todo momento.

Mediante el siguiente código mostramos por pantalla el desplazamiento producido por la herramienta de mecanizado.

//Aquí se decodifica el valor de las entradas digitales y se muestra por pantalla el desplazamiento de la herramienta.

```
if (convdate==81)
{
    textBox1.Text = "-10mm";
}

private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
}
```

Este código está sacado de la interfaz Cambio de Herramienta [2], en la cual esto es necesario para obtener el valor de las señales “DI10_1” y “DI10_2” que indican qué herramienta está cogida.



5 PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS **DE RESULTADOS**

5.1. Puesta en marcha de los elementos hardware

Durante este epígrafe se describirán todos los diseños físicos necesarios para la implementación del sistema de control y monitorización de la herramienta de mecanizado mediante el sensor de fuerza AFD70-1.

5.1.1. Diseños realizados para el área del sistema robótico

Los factores decisivos para la puesta en marcha han sido los siguientes:

- Uso docente del robot ABB
- Estado del conexionado del controlador IRC5 del robot ABB

El uso docente condiciona el uso del robot, ocasionando la interrupción de la elaboración de este proyecto y condicionando la célula de trabajo, debido a que el robot siempre debía estar disponible en todo momento, por si fuese requerido para uso docente; En consecuencia tanto los elementos instalados como la configuración del robot, debía ser reversible en un periodo corto de tiempo, puesto que durante la ejecución del mismo podía requerirse el robot para uso docente, como ocurrió en diversas ocasiones, teniendo que restablecer la configuración de prácticas.

Al final de cada día el robot debía estar preparado para su uso docente.

Después de cada uso docente se observó tanto el aumento de los falsos contactos en el controlador IRC5, como el deterioro del conexionado de la herramienta y del sistema neumático, el cual se encontraba estrangulado en la mayoría de los casos, probablemente debido a llevar al robot a posiciones singulares donde se retorció el cableado o por precipitaciones de la pinza neumática.

El conexionado del controlador IRC5, se encontraba en mal estado, lo que no permitía un correcto conexionado, llegando al extremo de producirse cortocircuitos o incluso llegarse a soltarse los cables de las entradas del controlador con el simple cierre o apertura de la puerta del armario. Esto ha generado que se planifique el recableado tanto del robot como del controlador a medio corto plazo.

Como solución a los problemas anteriormente comentados, se decidió crear una célula de trabajo auxiliar, donde se encontraba aislada la herramienta de mecanizado. De esta manera se podían acotar los errores de nuestra aplicación y una vez comprobado su correcto funcionamiento trasladar esta célula de trabajo auxiliar a la célula de trabajo al robot.

Una vez conseguido controlar la herramienta de mecanizado, en la célula de trabajo auxiliar, se procedió a la integración en la célula de trabajo descrita en el capítulo 2. Para llevar a cabo esta integración, como el recableado seguía sin ejecutarse, se procedió a la sustitución de todos los elementos implicados para el control y monitorización de la herramienta de mecanizado, por los usados en la célula de trabajo auxiliar, de los cuales se tenía la certeza de su correcto funcionamiento.

Se substituyeron las clemas de las entradas digitales del robot ABB ya conexas, por unas nuevas cableadas únicamente con los elementos necesarios para el control y monitorización del sensor de fuerza AFD70-1.

Se creó un nuevo cable portador de la señal del sensor fuerza, substituyendo al cableado en el controlador, el cual no funcionaba correctamente.

Se instaló un divisor de corriente 4 a 1 entre la salida del sensor y la entrada al conversor analógico digital, para adecuar la señal de salida al rango de trabajo admitido por el conversor, que es de 4 a 20 mA, como se comentó en el capítulo 3. Fue necesario debido a que nuestra señal oscila entre unos valores de corriente de 20 mA cuando la fuerza aplicada sobre el sensor no supera su peso, es decir, cuando el desplazamiento sobre su eje es nulo, y 80 mA en la posición más desfavorable,

Se adquirió una rueda pivotante, como solución para mostrar correctamente que el robot modificaba su posición, al realizar una trayectoria errática, en función de los valores del sensor, puesto que al estar integrado el sensor en una herramienta de mecanizado, su útil natural es una fresa o broca. Como consecuencia de la naturaleza de la herramienta fue necesario el bloqueo del rotor de la herramienta, para conseguir una posición fija de la rueda.

Una vez realizada la integración de la célula auxiliar en la célula de trabajo, se procedió a la recalibración del sistema, puesto que las medidas habían sufrido pequeñas desviaciones, con las obtenidas en la célula auxiliar.

En el siguiente apartado se mostrara los esquemas eléctricos completos de la aplicación, mediante los cuales, en el momento que se lleve a cabo el recableado del controlador, se pueden integrar ambas soluciones, evitando la duplicación de componentes, e integrando todo en uno.

5.1.2. Puesta en marcha del circuito eléctrico completo

En este apartado se mostrara el cableado de los distintos elementos presentes en la célula de trabajo, tanto de manera individual como globalmente.

Debido a que un futuro se procederá al recableado del controlador IRC5, se van a mostrar en los esquemas donde debería introducirse un polímetro, para verificar la corriente de salida del sensor de fuerza AFD70-1, ya que debe ser soportada por el conversor analógico digital, y con el nuevo recableado puede verse alterada, y por tanto debería modificarse el divisor de corriente actual, por aquel que adecue la señal de salida al rango de conversión del conversor.

Para aclarar el cableado necesario entre el sensor de fuerza AFD70-1 y el conversor analógico de digital se muestran las tablas 5-1, 5-2 y 5-3.

Tabla 5-1 Conexiones caja negra / color cable herramienta de mecanizado

PIN R19	Señal	Color	Conexión 6P	Localización
P	Sensor V+ (A)	Violeta	A	J7
R	Sensor COM (B)	Blanco	B	J7
A	Sensor POSN (E)	Marrón	E	J8
T	Sensor SHDL (F)	Rosa	F	J8

Tabla 5-2 Conexiones señales bus IRC5-IRB2400

Cable entrada	Línea	Color línea	Unión R1CS	Fin R2CS	XT5 Conectado con
Sensor V+ (A)	16	Blanco-Verde	PIN S-PIN16	PIN S	Blanco-rojo
Sensor COM (B)	17	Blanco-Azul	PIN T-PIN17	PIN T	Negro-blanco
Sensor POSN (E)	18	Blanco-Violeta	PIN U-PIN18	PIN U	Verde- negro
Sensor SHDL (F)	19	Blanco-Gris	PIN V-PIN19	PIN V	Azul- blanco

Tabla 5-3 Conexiones Conector R6 auxiliar

Conector R6	Color Manguera Blanca	Color Manguera Gris	Cable Salida
A	Verde	Verde	Sensor V+
B	Marrón	Marrón	Sensor COM
E	Negro	Azul	Sensor POSN
F	Morado	Naranja	Sensor SHDL

El convertor analógico digital, se configura en modo de conversión continua, para llevar a cabo esta configuración se debe cablear según se indico en la figura 5-5 Configuración del ADC.

Añadiendo el cableado necesario para el correcto funcionamiento de la aplicación, el convertor tendría la configuración mostrada en las figura 5-1 y 5-2.

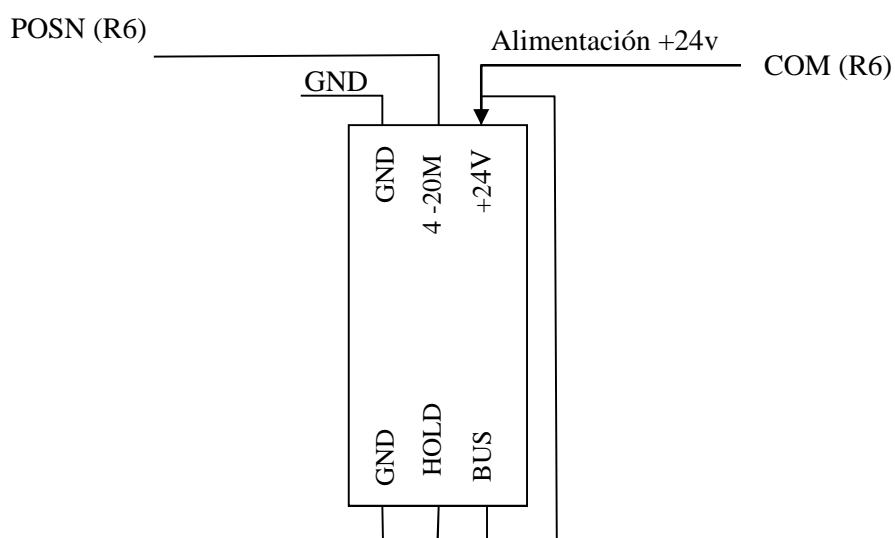


Figura 5-1 Conexión convertor ADC.

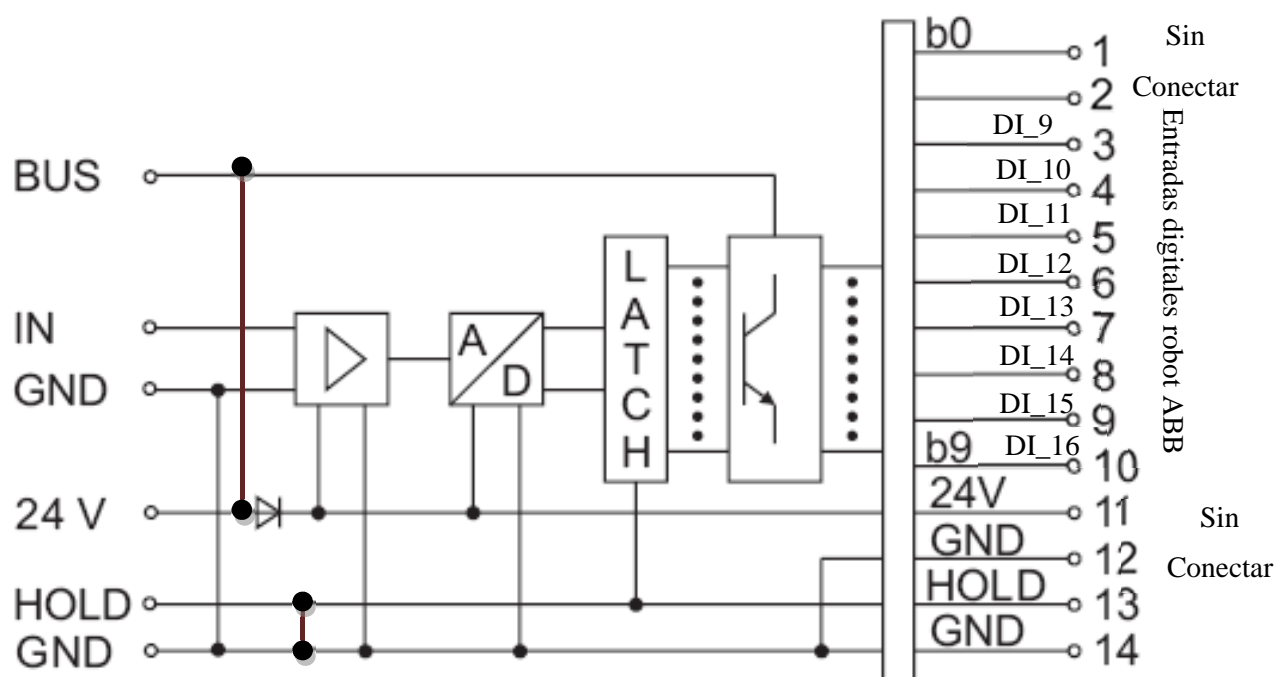


Figura 5-2 Conexionado conversor ADC.

La salida del conversor, (b3-b10), sale en una faja de cables de color gris, y se conectan directamente al conector X3, (mediante una de las clemas adquiridas comentado anteriormente), entradas digitales del controlador, la asignación entre las salidas del conversor y las entradas del controlador, se muestran en la tabla 5-4.

Tabla 5-4 Conexiones Salida A/D con entrada X3

Salida A/D	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10
Entrada X3	DI_9	DI_10	DI_11	DI_12	DI_13	DI_14	DI_15	DI_16

El divisor de corriente 4 a 1 no especifica el valor de las resistencias que lo componen, puesto que cualquier configuración es válida, siempre y cuando se mantenga la relación de transformación, que es la que adecua la señal de trabajo con los valores admitidos por el conversor. En la figura 5-3 se muestra sus conexiones.

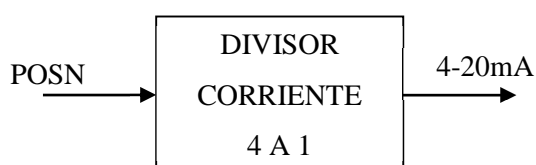


Figura 5-3 Divisor de corriente

En la figura 5-4, se muestra un esquema de la conexión de la aplicación

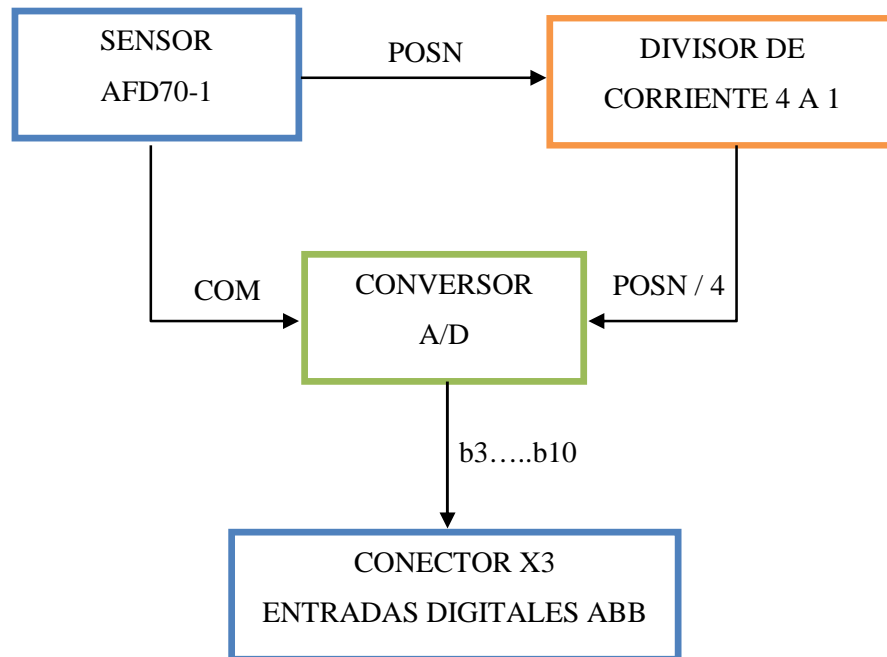


Figura 5-4 Esquema conexión aplicación

En el caso de querer intercalar un polímetro para comprobar la corriente de entrada al conversor como se recomendó con anterioridad, habría que abrir el circuito del divisor de corriente e intercalar en serie un polímetro.

El terminal negativo del polímetro se conectaría a la entrada 4-20mA del conversor analógico digital y el terminal positivo iría conectado a la resistencia que forma el paralelo del divisor de corriente 4 a 1.

5.2. Puesta en marcha de los elementos software

En este apartado se describirán todos los diseños hardware necesarios para la el control y monitorización del sensor de fuerza AFD70-1.

5.2.1. Robot ABB 2400/16

La programación software sobre el robot ABB 2400/16 se ha llevado en RobotStudio, para realizar una aplicación que demuestre el control de la herramienta y por tanto una posible aplicación en la realidad tanto como sobre el mismo robot.

En RobotStudio se han programado, por un lado, las consignas para dotar al robot de las herramientas necesarias para parametrizar los valores del sensor de fuerza y por otro las necesarias para obtener en tiempo real los valores del sensor, dotando al robot de la capacidad de modificar autónomamente su posición en función de estos valores y de las ordenes programadas.

Inicialmente para la demostración del control y monitorización de la herramienta de mecanizado, se planifico que el robot siguiera un trayectoria, de la cual solo se especificaría el origen y el destino final, y el robot mediante cálculos matemáticos de la pendiente y del valor del sensor se desplazara verticalmente hasta conseguir unos valores del sensor fuerza que salvaguardaran la integridad de la herramienta.

Durante la puesta marcha, se comprobó que los requisitos necesarios para llevar a cabo este deseo, no habían sido adquiridos y por tanto hubo que buscar una alternativa, que no desbordara la pila de ejecución y que no fuese suficientemente complejo para que el robot lo pudiera ejecutar.

La solución alternativa, que finalmente resulto ser válida consiste en la realización de una trayectoria errática, con subidas y bajadas, en la que primeramente se produce el desplazamiento horizontal, y posteriormente se analiza el valor del sensor de fuerza, se realizan los desplazamientos en vertical hasta que el valor del sensor de fuerza se encuentre en los márgenes deseados; una vez alcanzado, continua con su trayectoria horizontal, repitiéndose esta operación hasta que se alcanza el punto final de la

trayectoria. Han sido necesarios implementar tiempos de espera, para garantizar la lectura correcta del sensor de fuerza y el no desbordamiento de la pila de ejecución.

En las figura 5-5 y 5-6 podemos encontrar un esquema que ilustra lo anteriormente mencionado.

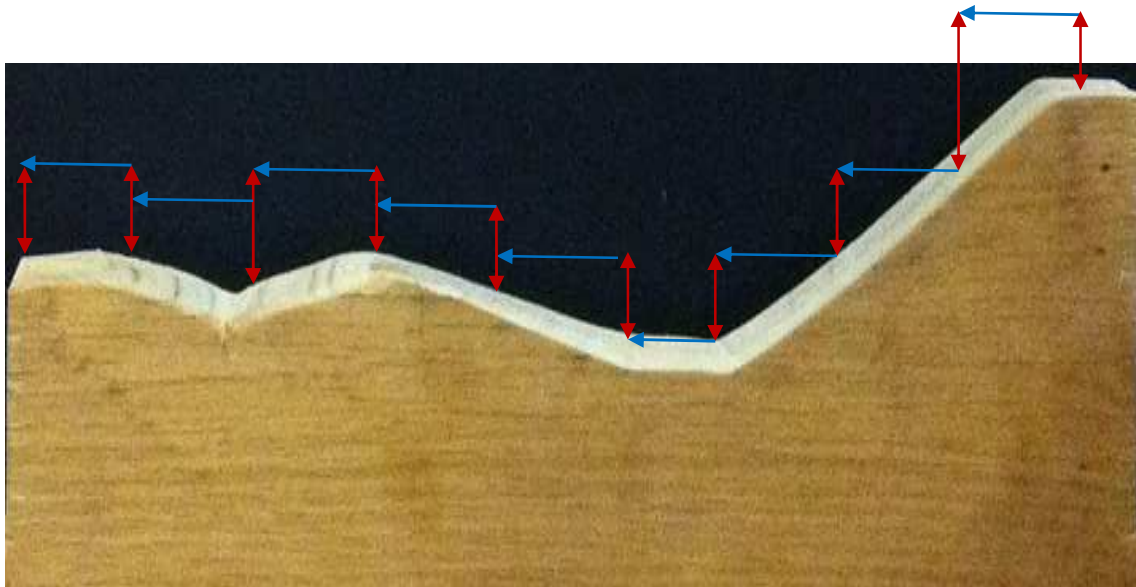


Figura 5-5 Secuencia de ejecución de trayectoria

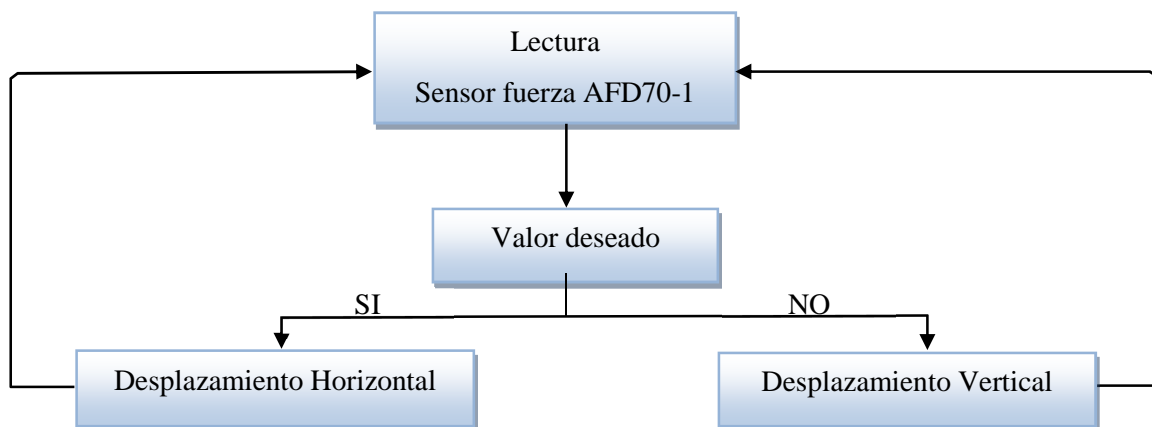


Figura 5-6 Esquema de ejecución de trayectoria

Paralelamente se ha diseñado en RobotStudio una simulación de la interfaz grafica del sensor, mostrándose por la pantalla Flexpendant, tanto el valor en tiempo real del sensor, como las acciones que está llevando a cabo el robot.

El desarrollo software sobre el robot ha sido principalmente la creación de una variable “conversor”, que agrupa las 8 entradas utilizadas para la lectura del valor del sensor de fuerza, y muestra el numero decimal correspondiente al estado actual, en tiempo real, de las entradas asignadas.

5.2.2. Interfaz de cambio de herramienta

Para el desarrollo del funcionamiento se ha utilizado el manual de aplicación de PC SDK [21], el manual de referencia PC SDK que se crean en la instalación de Robot Application Builder y las indicaciones de David Torremocha [2].

El formulario Padre donde se realiza el escaneo de los controladores permanece inalterado, modificándose únicamente en la aplicación diseñada para el cambio de herramienta [2], el formulario dedicado al sensor de fuerza.

El formulario del sensor original se ha actualizado con las entradas del robot implementadas, para el control del sensor de fuerza ADF70-1, añadiendo y modificando las dispuestas por David Torremocha. Seguidamente se ha dado sentido a la ventana que muestra el valor del sensor de fuerza, puesto que mi compañero al no estar en su alcance la herramienta de mecanizado, desconocía el sentido físico de los valores del sensor de fuerza AFD70-1 y su significado o aplicación de los mismos.

Como el suministro de presión a la herramienta de mecanizado es constante, la fuerza/resistencia que ejerce la herramienta de mecanizado el desplazamiento, sobre su eje es también constante, en consecuencia analizando la variación del valor sensor de fuerza, podemos conocer el desplazamiento de la herramienta de mecanizado sobre su posición de reposo.

Al programar en este formulario la variable “conversor”, variable que agrupa los datos del control del sensor de fuerza AFD70-1, mediante la cual se realiza el control del mismo, no hay ningún problema, puesto que el sistema soporta grupos de variables, los problemas surgen al conectar la aplicación con el robot, puesto que las licencias

actualmente adquiridas e instaladas, por la Universidad Carlos III, en la célula de trabajo, no lo soportan como podemos ver en la figura 5-7.

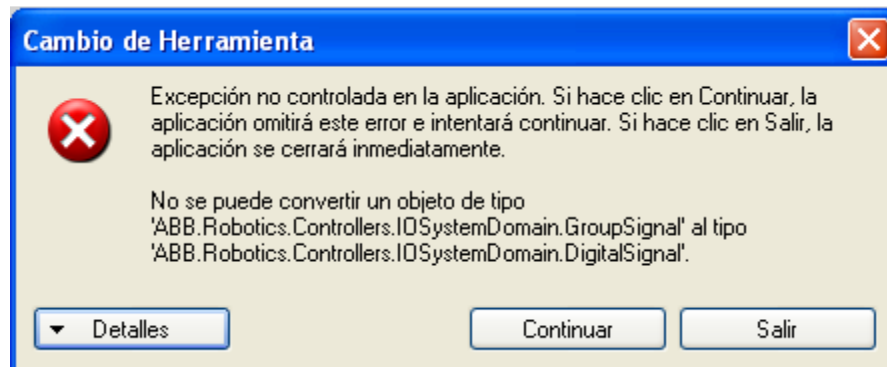


Figura 5-7 Error de reconocimiento de la variable conversor.

En consecuencia para mostrar el valor del sensor y por ende el desplazamiento de la herramienta de mecanizado, ha habido que asignar manualmente el desplazamiento de la herramienta con el valor de las señales de entrada correspondientes.

Esto se conseguido modificando el código diseñado en el apartado 4.2.2.3, substituyendo la variable conversor, por las 8 señales digitales (DI10_9,..., DI10_16), que la componen, y analizando su valores en función del desplazamiento producido.

En los anexos correspondientes a este capítulo podemos encontrar el código en ambas versiones, por si en algún momento se adquirieran estos recursos, y por tanto se pudiera implementar de manera automática la calibración.

5.3. Análisis de resultados

En este apartado se analizará los datos de la señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1, tanto en la herramienta de mecanizado, como su evolución hasta que es introducida en el robot ABB IRB2400/16 para su posterior lectura y ejecución.

Después de la realización de la implementación de los elementos necesarios para el control y monitorización de la herramienta de mecanizado a través del sensor de fuerza AFD70-1, se procede a analizar los resultados obtenidos, que se describirán a continuación y que obligaran a hacer modificaciones de los diseños teóricos.

Este apartado es muy importante y aunque en la redacción de la memoria este situado después de la implementación hardware y software, en el desarrollo de la aplicación está continuamente entrelazado con los mismos.

Un ejemplo de lo anteriormente conectado es que la corriente de salida del sensor de fuerza AFD70-1, es mayor que la soporta el conversor analógico/digital y de no haber analizado con anterioridad se hubiera dañado el conversor, para solucionar este aspecto, se filtra previamente la salida del conversor por un divisor de corriente 4 a 1, para ajustarlo al rango de entrada admisible del conversor, obteniendo un rango de señal entre 5 y 20 mA, dentro del rango admisible que es de 4 a 20mA.

En las especificaciones del sensor se especifica que la respuesta del sensor es lineal, pero como el potenciómetro tiene un margen del 30%, un margen muy elevado, y la salida del sensor se ve afectada por la temperatura, se procede a la comprobación de la linealidad, obteniendo la grafica que se muestra en la Figura 5-8

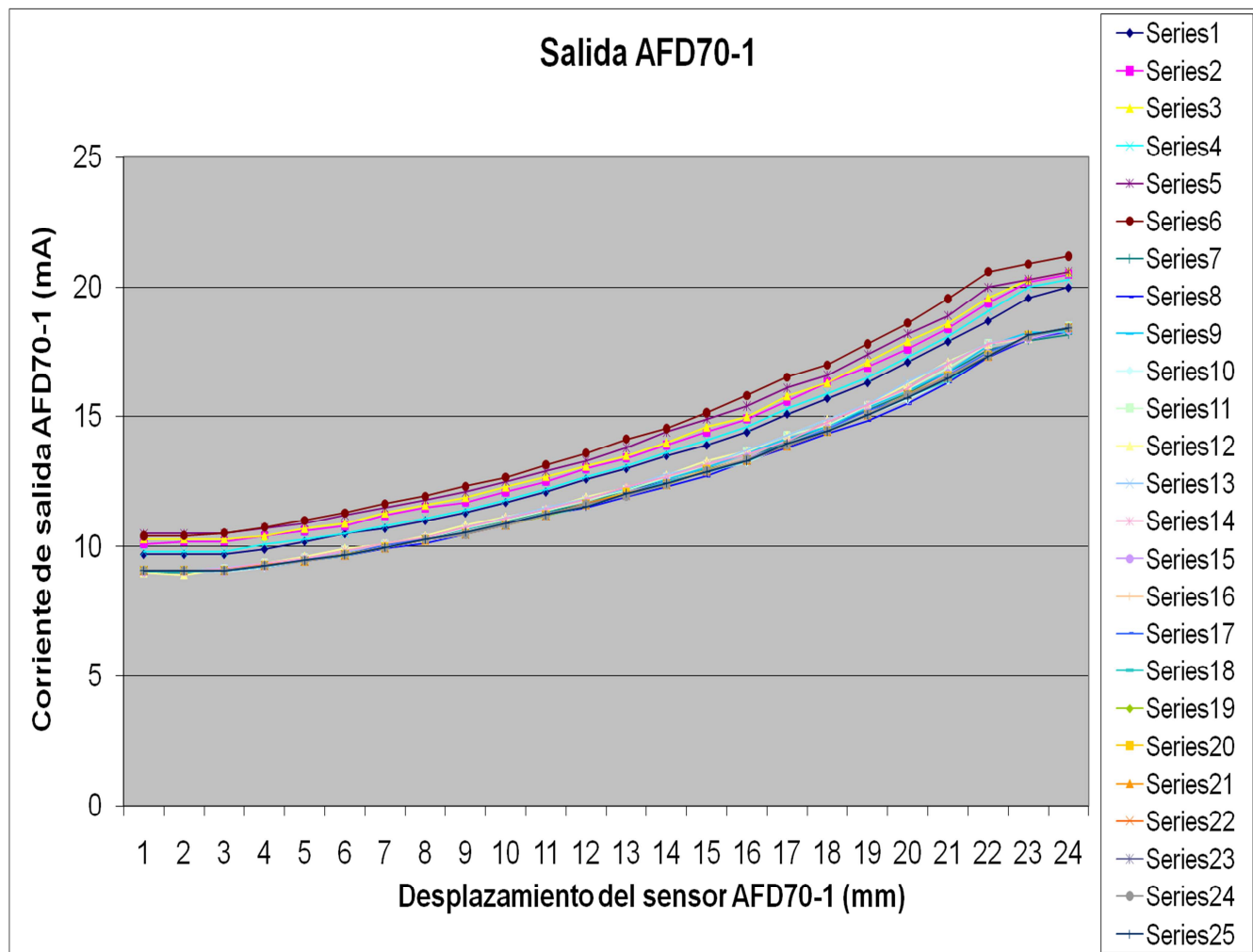


Figura 5-8 Señal de salida del sensor AFD70-1.

Observamos que la linealidad se cumple, inicialmente se observa que la medida se veía claramente afectada por la temperatura, puesto que si nos fijamos en series correlativas vemos como describen la misma parábola, mientras que el punto de origen y final han aumentado de valor, como se puede ver en los anexos, este aumento es significativo, debido a la alta resolución de la aplicación.

Según se fue controlando este aspecto conseguimos obtener una repetitividad de las medidas como se puede observar en el gráfico si se observa las últimas series, llegando a tener medias prácticamente idénticas como se deseaba.

Debido a este incremento con la temperatura al inicio de nuestro trabajo hemos parametrizado los intervalos de crecimiento de la corriente en función de la temperatura y la variación que se produce en la corriente en proporción del desplazamiento del sensor AFD70-1 sobre su eje.

Analizando las últimas series de medida, debido a su repetitividad podemos concluir las siguientes variaciones teóricas tanto en la corriente como en la salida del conversor, puesto que conocemos la resolución del conversor, ver tabla 5-4, según el desplazamiento de la herramienta sobre la vertical del sensor AFD70-1, siendo el desplazamiento cero la posición en reposo y -21 la más desfavorable, cuando el desplazamiento de la herramienta es máximo.

Tabla 5-4 Variación de la señal de salida del sensor ADF70-1

Variación de la corriente del sensor ADF70-1 (mA)	Desplazamiento (mm)	Variación de posiciones a la salida del conversor A/D
0,09	0	0
0,16	-1	3
0,14	-2	11
0,2	-3	13
0,23	-4	15
0,29	-5	17
0,28	-6	17
0,31	-7	18
0,38	-8	21
0,34	-9	22
0,37	-10	24
0,48	-11	26
0,33	-12	25
0,48	-13	28
0,51	-14	27
0,71	-15	35
0,51	-16	35
0,57	-17	38
0,56	-18	43
0,9	-19	46
1,02	-20	53
0,1	-21	3

En la tabla 5-5, podemos observar la correlación de los datos teóricos mostradas en la tabla anterior con las medidas reales, sobre las cuales se ha realizado la programación, y por tanto queda demostrado el correcto control del sensor de fuerza AFD70-1 y en consecuencia, la programación software final, se basará en esta tabla.

Tabla 5-5 Señal de salida del sensor ADF70-1

Posición (mm)	Valor entradas digitales en x3 (Binario)								Valor en decimal	Intensidad AFD70-1 (mA)
	Di_16	Di_15	Di_14	Di_13	Di_12	Di_10	Di_9	Di_8		
Reposo	0	1	0	1	0	0	0	0	79	9,07
-1	0	1	0	0	1	1	1	1	80	9,16
-2	0	1	0	1	0	0	1	1	83	9,32
-3	0	1	0	1	0	1	0	1	85	9,46
-4	0	1	0	1	1	0	0	0	88	9,66
-5	0	1	0	1	1	1	0	0	92	9,89
-6	0	1	1	0	0	0	0	0	96	10,18
-7	0	1	1	0	0	1	0	1	101	10,46
-8	0	1	1	0	1	0	1	0	106	10,77
-9	0	1	1	1	0	0	0	0	112	11,15
Mitad	0	1	1	1	0	1	0	1	117	11,49
-11	0	1	1	1	1	0	1	1	123	11,86
-12	1	0	0	0	0	0	1	1	131	12,34
-13	1	0	0	0	1	0	0	0	136	12,67
-14	1	0	0	1	0	0	0	0	144	13,15
-15	1	0	0	1	1	0	0	0	152	13,66
-16	1	0	1	0	0	0	1	1	163	14,37
-17	1	0	1	0	1	0	1	1	171	14,88
-18	1	0	1	1	0	1	0	0	180	15,45
-19	1	0	1	1	1	1	0	1	189	16,01
A Tope	1	1	0	0	1	1	0	0	204	16,91
-21	1	1	0	1	1	1	0	0	220	17,93
-22	1	1	1	0	0	0	0	1	225	18,17



6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. Conclusiones

Tras la realización e implementación de los objetivos descritos en este Proyecto Fin de Carrera y la posterior puesta en marcha del sistema completo, se ha verificado el correcto funcionamiento de todos los sistemas. En consecuencia, se puede afirmar que se ha logrado el objetivo global del proyecto, consistente en el control y monitorización de la herramienta de mecanizado mediante el sensor de fuerza ADF70-1.

Con la integración en la aplicación desarrollada por David Torremocha [2], conseguimos que el usuario interactúe con una interfaz que le permita el cambio de herramienta y la ejecución de tareas anteriormente programadas, sin necesidad de utilizar FlexPendant ni RobotStudio Online. Esto permite que el usuario final no esté obligado a tener conocimiento alguno sobre el manejo del robot.

Además, gracias al trabajo realizado en el proyecto, se ha logrado poner de manifiesto las ventajas surgidas de controlar la fuerza ejercida en tareas de mecanizado. Estas ventajas planteadas para los procesos productivos son: el ahorro de tiempo en el diseño, la facilidad de corrección de los errores, la flexibilidad del sistema para realizar modificaciones sobre la marcha y una gran integración con otros sistemas.

Aun habiendo cumplido con los objetivos primordiales del Proyecto, queda de manifiesto la multitud de dificultades para lograr un correcto funcionamiento del robot en tiempo real.

6.1.1. Conclusiones sobre hardware

Se ha procedido al diseño y puesta en marcha de los elementos hardware del sistema robótico necesarios para la ejecución de este proyecto con un gran resultado. Se trata de diseños e implementaciones básicas para la consecución de los objetivos dados los medios existentes y el uso docente del robot.

Los problemas surgidos se deben principalmente al deterioro del conexionado eléctrico, lo que se traduce en falsos contactos y dificultad de implementación de nuevos elementos.

El estado del cableado del robot ha planteado que el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática tenga planeado el recableado del mismo a corto medio plazo. La demora en realización del recableado, ha originado la necesidad de crear un sistema paralelo, separando la herramienta de mecanizado del robot, para realizar su control y así acotar los errores propios de este proyecto, de los causados por el mal estado del conexionado de los cables.

Una vez subsanados y de haber conseguido el objetivo principal, se han implementado sobre el robot, substituyendo todos los elementos del robot que intervienen en la realización del proyecto, por los utilizados en esta célula paralela.

El uso docente del robot ha afectado en la elaboración del proyecto puesto que ha impedido el uso continuado del mismo, lo que obligaba a la interrupción en la instalación de los elementos como a las pruebas de los mismo, puesto que el robot debía estar permanentemente operativo para el usos docente.

En cuanto a la herramienta de mecanizado, unos de los principales problemas ha sido el amplio error de la resistencia que regula la salida del sensor, así como sensibilidad en función de la temperatura, provocando la variación de los valores del sensor AFD70-1 y por tanto dificultando en gran medida el control de la herramienta de mecanizado a través del mismo.

6.1.2. Conclusiones sobre software

Se ha logrado un gran nivel de precisión y exactitud en las medidas, debido a la flexibilidad del código, el cual está preparado para soportar las posibles variaciones, así como por las bajas temperaturas actuales que han permitido subsanar los problemas de calentamiento de los componentes hardware.

La integración en la aplicación desarrollada por David Torremocha Ruano en [2], se ha realizado con éxito, modificando el código relacionado con la herramienta de mecanizado, para el cual, David Torremocha, dejó las instrucciones necesarias para crear la nueva aplicación actualizada. Conseguimos que el usuario interactúe con una interfaz que le permita el cambio de herramienta, y la ejecución de tareas anteriormente programadas, sin necesidad de utilizar FlexPendant ni RobotStudio Online, pero debido a la rotura de un presostato no es capaz de detectar automáticamente la herramienta de mecanizado.

La actualización de la aplicación ha podido llevarse a cabo, siguiendo las indicaciones de David y las correcciones en el código indicadas en el apartado 5.2.2. Adicionalmente se ha creado en lenguaje RAPID una rutina que simula la aplicación anteriormente mencionada, en lo referente a la herramienta de mecanizado, mostrando por la Flexpendant la información que se muestra en la aplicación, por si en un futuro se daña algún archivo de la aplicación.

Esta aplicación surge como posible solución a problemas futuros para personas que desconozcan el funcionamiento de la aplicación.

Se ha conseguido el control y funcionamiento de la herramienta de mecanizado, así como su actuación conjunta mediante el uso de instrucciones RAPID en el programa del robot, como de formularios de Windows Forms en la interfaz de cambio automático de herramienta.

6.2. Trabajos futuros

Aun habiendo cumplido satisfactoriamente con todos los objetivos marcados para este proyecto, se podrían implantar diversas mejoras que producirían un mejor y más completo funcionamiento de la célula.

A continuación se muestra una lista con algunas de las posibles mejoras:

- Mejorar la colocación del robot en la peana, así como la nivelación del sistema sobre el suelo. Esto resulta imprescindible para la consecución de cualquier proceso, ya que el robot es el elemento sobre el que gira toda la estación.
- Mejorar el conexionado del robot, tanto en el armario como en la caja negra. Esto resulta imprescindible para la consecución de cualquier proceso, ya que el conexionado actual genera falsos contactos, derivaciones, con el riesgo que esto conlleva tanto para los equipos instalados como para el control de los mismos.
- Reducción de los elementos hardware. Una vez sea realizado el recableado, realizar la integración de los elementos utilizados en el proyecto con los ya presentes, para optimizar los recursos. Substitución de la placa del divisor de corriente por un circuito integrado.
- Cambiar los presostatos del cambio de herramienta, ya que el presostato número dos está roto. En consecuencia, no detecta correctamente la herramienta situada en el brazo robótico.
- Desarrollo de un sistema que regule el flujo de aire comprimido a la entrada del sensor AFD70-1, regulando de esta manera la fuerza ejercida y por tanto la resistencia al desplazamiento del mismo. Conseguiríamos realizar trabajos de mecanizado más intensivos, mejorando tanto en la productividad como en la calidad del acabado.
- Desarrollar un sistema de control de la temperatura del IRC5. Controlaríamos las desviaciones en la salida del sensor producidas por el calentamiento. Actualmente este control se hace vía software mediante la calibración del sensor.

A parte de la monitorización del desplazamiento en la interfaz de cambio de herramienta, ésta puede ser ampliada o modificada, permitiendo al usuario ejecutar cualquier rutina de manera completamente automatizada, satisfaciendo futuras necesidades. Para ello habría que seguir las siguientes indicaciones:

Para la instalación del programa sólo hay que abrir la carpeta Instalación-aplicación-robot-ABB y ejecutar el archivo Setup. La aplicación se instalará y se podrá ejecutar desde el menú Inicio -> Todos los programas -> Aplicación robot ABB.

Si en el PC no se encontrara instalada ninguna versión de RobotStudio, sería necesario instalar ABB Industrial Robot CommunicationRuntime. Este programa está incluido en la carpeta de instalación de Robot ApplicationBuilder, que se encuentra en la ruta C:\Archivos de programa\ABB Industrial IT\Robotics IT\SDK\PC SDK 5.13\Redistributable\RobotCommunicationRuntime. Para instalarlo basta con ejecutar el archivo Setup de esa ruta.

Para ampliar o modificar lo existente, basta con abrir con Microsoft Visual C# 2008 el proyecto incluido en la carpeta Aplicación Robot ABB. Una vez modificado, sólo habría que generarlo y volverlo a publicar (Publish), opciones que se pueden ejecutar desde el explorador de soluciones de Microsoft Visual C#. Esto crearía otra carpeta de instalación nueva con los archivos modificados y por tanto habría que volver a instalar la aplicación.



7 PRESUPUESTO

Autor:

Jaime Fernández Sánchez

Departamento:

Ingeniería de Sistemas y Automática

Descripción del proyecto:

Control del sensor de fuerza AFD70-1 en herramienta de mecanizado e integración en interfaz grafica de cambio de herramienta

- Título: Control de herramienta de mecanizado de un robot ABB mediante el sensor de fuerza AFD70-1.
- Duración: 6 Meses

Presupuesto total del proyecto (Valores en Euros):

11.797,15 Euros

Desglose presupuestario (Costes Directos):

- Coste de personal:

Los costes de personal, tabla 7-1, se han calculado en función de los sueldos base para Ingenieros técnicos y la cuantía de las becas para ingeniero técnico. La duración se ha estimado en 6 meses, tiempo que engloba el desarrollo y la redacción del presente proyecto. Los cargos sobre los salario brutos son de un 7% en concepto de Seguridad Social y un 22% en concepto de I.R.P.F.

Tabla 7-1 Costes de personal

Concepto	Salario [€]	Meses	Total [€]
Ingeniero Técnico Industrial	1.500,00 €	6	9.000,00 €
		S.S. (7%)	630,00 €
		I.R.P.F. (22%)	1.980,00 €
		TOTAL [€]	11.610,00€

- Costes de adquisición de componentes:

Los costes de adquisición de componentes se muestran en la tabla 7-2.

Tabla 7-2 Costes de adquisición de componentes

Concepto	Precio Unitario [€]	Unidades	Precio Posición [€]
Convertor analógico/digital: Wago 787-503	165,00	1	165,00
Conector militar hembra 6 pines	7,65	1	7,65
Conector 2x7	0,50	1	0,50
Clemas Entradas ABB	1,75	4	7,00
Rueda pivotante	4,95	2	9,90
Perfil de Madera	2,00	1	2,00
Varios (Cables y útiles)	5,00	1	5,00
TOTAL [€]			187,15

Resumen de costes:

En la tabla 7-3, podemos ver un resumen de los costes de ejecución de este proyecto.

Tabla 7-3 Resumen de costes

Concepto	Total
Coste personal	11.610,00
Coste de adquisición de componentes	187,15
TOTAL	11.797,15

El presupuesto de ejecución del proyecto asciende a la cantidad de **ONCE MIL SETECIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON QUINCE CENTIMOS DE EURO.**

Leganés a 2 de Abril del 2012

El ingeniero proyectista

Fdo. Jaime Fernández Sánchez



8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Proyectos de referencia

[1] José Álvarez Paramio y Daniel Del Olmo Acebes, Diseño y Puesta en marcha de una célula de fabricación flexible robotizada, Universidad Carlos III, 2009.

[2] David Torremocha Ruano, Realización de una interfaz grafica para el cambio de herramientas en un robot ABB, Universidad Carlos III, 2010.

Estudios e información sobre automatización y células CIM:

[3] <http://www.monografias.com/trabajos6/auti/auti.shtml?monosearch>

(Consultada el día 2/10/11).

[4] <http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml?monosearch>

(Consultada el día 2/10/11).

Estudios e información sobre robótica y aplicaciones robóticas

[5] <http://www.monografias.com/trabajos6/larobo/larobo.shtml?monosearch>

(Consultada el día 12/11/11).

[6] <http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml?monosearch>

(Consultada el día 12/11/11).

[7] <http://www.leia.es/E-ROBOT/aplicaciones.html>

(Consultada el día 13/11/11).

[8] http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/aplicaciones.htm

(Consultada el día 13/11/11).

[9] <http://www.ifr.org/service-robots/>

(Consultada el día 15/11/11).

[10] <http://www.pushcorp.com/success.htm>

(Consultada el día 15/11/11).

[11] <http://pcexpertos.com/2009/08/clasificacion-de-los-robots-por generaciones.html>

(Consultada el día 15/11/11).

[12] Libro Fundamentos de Robótica, Mc Graw-Hill, 1997. Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñin, Carlos Balaguer, Rafael Aracil,

Historia de la robótica.

[13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>

(Consultada el día 12/11/11).

Página web de ABB:

[14] <http://www.abb.es>

(Consultada el día 10/03/11).

Página web de PUSHCORP:

[15] <http://www.pushcorp.com>

(Consultada el día 10/03/11).

Página web de KRENEL:

[16] <http://www.krenel.com/index2.htm>

(Consultada el día 10/03/11).

Conversor analógico digital CAD:

[17] http://es.wikipedia.org/wiki/Conversi%C3%B3n_anal%C3%B3gica-digital

(Consultada el día 10/06/11).

Página web de WAGO:

[18] <http://www.wago.com>

(Consultada el día 10/06/11).

Página web de ADVANCED MotionControls:

[19] <http://www.a-m-c.com>

(Consultada el día 10/06/11).

Página web de MILLERWELDS ADVANCED MotionControls:

[20] http://www.millerwelds.com/products/accessories/water_coolant_systems

(Consultada el día 20/07/11).

Manual de aplicación de PC SDK

[21] [http://www05.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/82ba3814b0220949c1257704002c2815/\\$File/3HAC036957-001_rev-_en.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/82ba3814b0220949c1257704002c2815/$File/3HAC036957-001_rev-_en.pdf)

(Consultada el día 10/12/11).



9 ANEXOS

A continuación se muestran los anexos de este proyecto fin de carrera que ayudaran a comprender mejor el mismo.

8.1. Programas Rapid para el robot

MODULE MainModule

LOCAL **PERS** tooldata tool0:=[**TRUE**,[[0,-0,-
200],[1,0,0,0]],[5,[0,0,30],[1,0,0,0],0,0,0]];

VAR robtarget p3:=[[1163.98,-
621.40,1004.29],[0.0263475,0.228021,0.973139,0.0176901],[-1,0,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

PROC main()

if DI10_4=1 **then**

TPWrite "Programa para la calibración del sensor.";

datos;

endif

MoveL p3, v100, fine, tool0;

auto;

endproc

proc mantener_posicion()

while conversor<114 **or** conversor >122 **do**

TPWrite "El valor del conversor es "\Num:=conversor;

if conversor>122 **then**

p3 := CRobT(\Tool:=tool0 \WObj:=wobj0);

TPWrite "Subiendo el brazo robótico 1 mm";

MoveL Offs(p3,0,0,+1),v100,z5,tool0;

waittime 1;

endif

if conversor<114 **then**

p3 := CRobT(\Tool:=tool0 \WObj:=wobj0);

TPWrite "Bajando el brazo robótico 1 mm";

MoveL Offs(p3,0,0,-1),v100,z5,tool0;

ANEXOS

```
        waittime 1;

    endif

    endwhile

    TPWrite "Posición definida alcanzada.";

endproc

proc auto()
    mantener_posicion;
    p3 := CRobT(\Tool:=tool0 \WObj:=wobj0);
    TPWrite "Desplazamiento horizontal 3mm ";
    TPWrite "El valor del conversor es "\Num:=conversor;
    MoveL Offs(p3,-3,0,0),v100,z5,tool0;
    waittime 1;
    auto;
endproc

Proc datos()
    while DI10_4=1 do
        p3 := CRobT(\Tool:=tool0 \WObj:=wobj0);
        if conversor <82 then
            MoveL Offs(p3,0,0,-1),v50,fine,tool0;
            waittime 1;
            datos;

        endif

        TPWrite "Bajando 1 mm ";
        MoveL Offs(p3,0,0,-1),v50,fine,tool0;
        waittime 1;
        TPWrite "El valor del conversor es "\Num:=conversor;

        datos;
    endwhile

    main;

ENDPROC

ENDMODULE
```

8.2. Programas de Windows Forms

Los formularios completos se encuentran en [2], solo mostraremos los formularios que se han modificado de la aplicación diseñada por David Torremocha.

8.2.1. Formulario Sensor (Interfaz Sensor de Fuerza)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
using ABB.Robotics;
using ABB.Robotics.Controllers;
using ABB.Robotics.Controllers.Discovery;
using ABB.Robotics.Controllers.RapidDomain;
using ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain;
namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Sensor : Form
    {
        private int DI109date, DI1010date, DI1011date, DI1012date, DI1013date,
        DI1014date, DI1015date, DI1016date, convdate = 0;
        public Sensor()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Sensor_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            // Se obtiene el valor de las señales DI10_9, DI10_10, DI10_11, DI10_12,
            DI10_13, DI10_14, DI10_15, DI10_16 que indicarán la presión ejercida.
            Signal DI10_9 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_9");
            DigitalSignal DI109 = (DigitalSignal)DI10_9;
            Signal DI10_10 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_10");
            DigitalSignal DI1010 = (DigitalSignal)DI10_10;
            Signal DI10_11 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_11");
            DigitalSignal DI1011 = (DigitalSignal)DI10_11;
            Signal DI10_12 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_12");
            DigitalSignal DI1012 = (DigitalSignal)DI10_12;
            Signal DI10_13 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_13");
            DigitalSignal DI1013 = (DigitalSignal)DI10_13;
            Signal DI10_14 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_14");
            DigitalSignal DI1014 = (DigitalSignal)DI10_14;
```



```
Signal DI10_15 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_15");
DigitalSignal DI1015 = (DigitalSignal)DI10_15;
Signal DI10_16 = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("DI10_16");
DigitalSignal DI1016 = (DigitalSignal)DI10_16;
//Signal conversor = Padre.controller.IOSystem.GetSignal("conversor");
//DigitalSignal conv = (DigitalSignal)conversor;

DI109date = (int)DI109.Value;
DI1010date = (int)DI1010.Value;
DI1011date = (int)DI1011.Value;
DI1012date = (int)DI1012.Value;
DI1013date = (int)DI1013.Value;
DI1014date = (int)DI1014.Value;
DI1015date = (int)DI1015.Value;
DI1016date = (int)DI1016.Value;
//convdate = (int)conv.Value;

//Cuando arranque el formulario se muestra por pantalla la presión instantánea
ejercida.
//Aqui va la misma información que en la función UpdateSignals.
if (DI109date == 0 && DI1010date == 0 && DI1011date == 0 && DI1012date
== 0 && DI1013date == 0 && DI1014date == 0 && DI1015date == 0 && DI1016date
== 0)// convdate == 0)
{
    textBox1.Text = "0";
}
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_9 cambia.
DI109.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI109_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_10 cambia.
DI1010.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1010_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_11 cambia.
DI1011.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1011_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_12 cambia.
DI1012.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1012_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_13 cambia.
DI1013.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1013_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_14 cambia.
DI1014.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1014_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_15 cambia.
DI1015.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1015_SignalChanged);
```

```
//Subscripción a un evento por si la señal DI10_16 cambia.
DI1016.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1016_SignalChanged);
//Subscripción a un evento por si la señal conversor cambia.
//conv.Changed += new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(conv_SignalChanged);
}
//Si DI10_9 cambia invocamos una función que actualice su valor.
void DI109_SignalChanged(object sender,
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)
{
    if (this.InvokeRequired)
    {
        this.Invoke(new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI109_UpdateSignal), new Object[] { this, e
});
    }
}
//Si DI10_10 cambia invocamos una función que actualice su valor.
void DI1010_SignalChanged(object sender,
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)
{
    if (this.InvokeRequired)
    {
        this.Invoke(new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1010_UpdateSignal), new Object[] { this,
e });
    }
}
//Si DI10_11 cambia invocamos una función que actualice su valor.
void DI1011_SignalChanged(object sender,
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)
{
    if (this.InvokeRequired)
    {
        this.Invoke(new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1011_UpdateSignal), new Object[] { this,
e });
    }
}
//Si DI10_12 cambia invocamos una función que actualice su valor.
void DI1012_SignalChanged(object sender,
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)
{
    if (this.InvokeRequired)
    {
        this.Invoke(new
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1012_UpdateSignal), new Object[] { this,
e });
    }
}
```

```
}  
//Si DI10_13 cambia invocamos una función que actualice su valor.  
void DI1013_SignalChanged(object sender,  
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)  
{  
    if (this.InvokeRequired)  
    {  
        this.Invoke(new  
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1013_UpdateSignal), new Object[] { this,  
e });  
    }  
}  
//Si DI10_14 cambia invocamos una función que actualice su valor.  
void DI1014_SignalChanged(object sender,  
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)  
{  
    if (this.InvokeRequired)  
    {  
        this.Invoke(new  
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1014_UpdateSignal), new Object[] { this,  
e });  
    }  
}  
//Si DI10_15 cambia invocamos una función que actualice su valor.  
void DI1015_SignalChanged(object sender,  
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)  
{  
    if (this.InvokeRequired)  
    {  
        this.Invoke(new  
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1015_UpdateSignal), new Object[] { this,  
e });  
    }  
}  
//Si DI10_16 cambia invocamos una función que actualice su valor.  
void DI1016_SignalChanged(object sender,  
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)  
{  
    if (this.InvokeRequired)  
    {  
        this.Invoke(new  
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(DI1016_UpdateSignal), new Object[] { this,  
e });  
    }  
}  
//Si conversor cambia invocamos una función que actualice su valor.  
//void conv_SignalChanged(object sender,  
ABB.Robotics.Controllers.IOSystemDomain.SignalChangedEventArgs e)  
//{  
//    if (this.InvokeRequired)
```

```
//{  
    // this.Invoke(new  
EventHandler<SignalChangedEventArgs>(conv_UpdateSignal), new Object[] { this, e  
});  
    //}  
//}  
// Se actualiza la señal DI10_9 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI109_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState DI109State = e.NewSignalState;  
    DI109date = (int)DI109State.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}  
// Se actualiza la señal DI10_10 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI1010_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState DI1010State = e.NewSignalState;  
    DI1010date = (int)DI1010State.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}  
// Se actualiza la señal DI10_11 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI1011_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState DI1011State = e.NewSignalState;  
    DI1011date = (int)DI1011State.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}  
// Se actualiza la señal DI10_12 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI1012_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState DI1012State = e.NewSignalState;  
    DI1012date = (int)DI1012State.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}  
// Se actualiza la señal DI10_13 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI1013_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState DI1013State = e.NewSignalState;  
    DI1013date = (int)DI1013State.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}  
// Se actualiza la señal DI10_14 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI1014_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)  
{  
    SignalState DI1014State = e.NewSignalState;  
    DI1014date = (int)DI1014State.Value;  
    UpdateSignals(sender, e);  
}  
// Se actualiza la señal DI10_15 y se llama a UpdateSignals.  
private void DI1015_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)
```

```
{
    SignalState DI1015State = e.NewSignalState;
    DI1015date = (int)DI1015State.Value;
    UpdateSignals(sender, e);
}
// Se actualiza la señal DI10_16 y se llama a UpdateSignals.
private void DI1016_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)
{
    SignalState DI1016State = e.NewSignalState;
    DI1016date = (int)DI1016State.Value;
    UpdateSignals(sender, e);
}
// Se actualiza la señal conversor y se llama a UpdateSignals.
//private void conv_UpdateSignal(object sender, SignalChangedEventArgs e)
//{
//    SignalState convState = e.NewSignalState;
//    convdate = (int)convState.Value;
//    UpdateSignals(sender, e);
//}
private void UpdateSignals(object sender, EventArgs e)
{
    //Aquí se decodifica el valor de las entradas digitales y se muestra por pantalla el
    //valor de la presión que ejerce el taladro.
    //80
    if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
    DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
    DI109date == 0)
    {
        textBox1.Text = "-10 mm";
    }//81
    if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
    DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
    DI109date == 1)
    {
        textBox1.Text = "-10 mm";
    }//82
    if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
    DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
    DI109date == 0)
    {
        textBox1.Text = "-10 mm";
    }//83
    if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
    DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
    DI109date == 1)
    {
        textBox1.Text = "-10 mm";
    }//84
}
```

```
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-9 mm";
} //85
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-9 mm";
} //86
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-9 mm";
} //87
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-8mm";
} //89
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-8 mm";
} //90
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-7 mm";
} //91
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-7 mm";
} //92
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-7 mm";
} //93
```

```
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-6 mm";
} //94
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-6 mm";
} //95
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-6 mm";
} //97
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-5 mm";
} //98
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-5 mm";
} //99
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-5 mm";
} //102
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-4 mm";
} //103
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-4 mm";
} //104
```

```
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-4 mm";
} //105
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-3 mm";
} //107
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-3 mm";
} //108
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-3 mm";
} //109
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-2 mm";
} //110
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-2 mm";
} //111
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-2 mm";
} //112
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-1 mm";
} //113
```



```
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-1 mm";
} //114
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "-1 mm";
} //115
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "-1 mm";
} //116
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //117
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //118
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //119
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //120
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //121
```

```
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //122
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "0 mm";
} //123
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+1 mm";
} //124
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+1 mm";
} //125
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+ mm";
} //126
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+1 mm";
} //127
if (DI1016date == 0 && DI1015date == 1 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+1 mm";
} //128
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+1 mm";
} //129
```

```
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //130
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //131
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+2mm";
} //132
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //133
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //134
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //135
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //136
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //137
```

```
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //138
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //139
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //140
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //141
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //142
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //143
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //144
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+3 mm";
} //145
```

```
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+2 mm";
} //146
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+4 mm";
} //147
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+4 mm";
} //148
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+4 mm";
} //154
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+5 mm";
} //155
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+5 mm";
} //156
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+5 mm";
} //157
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+5 mm";
} //163
```

```
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+6 mm";
} //164
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+6 mm";
} //165
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+6 mm";
} //171
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+7 mm";
} //172
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+7 mm";
} //173
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+7 mm";
} //174
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+7 mm";
} //180
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+8 mm";
} //181
```

```
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+8 mm";
} //182
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+8 mm";
} //183
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+8mm";
} //191
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 0 && DI1014date == 1 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+9 mm";
} //192
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+9 mm";
} //193
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+9 mm";
} //194
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+9 mm";
} //195
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+9 mm";
} //196
```

```
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+9 mm";
} //198
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
} //199
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 0 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
} //200
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
} //205
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
} //206
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
} //207
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 0 && DI1012date == 1 && DI1011date == 1 && DI1010date == 1 &&
DI109date == 1)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
} //208
if (DI1016date == 1 && DI1015date == 1 && DI1014date == 0 &&
DI1013date == 1 && DI1012date == 0 && DI1011date == 0 && DI1010date == 0 &&
DI109date == 0)
{
    textBox1.Text = "+10 mm";
}

if (convdate==81)
```



```
        {  
            textBox1.Text = "-10mm";  
        }  
    }  
  
    private void label1_Click(object sender, EventArgs e)  
    {  
  
    }  
  
    }  
}
```

8.3. Datos señal del sensor AFD70-1.

En este anexo se recogen los datos de la señal de salda del sensor de fuerza AFD70-1, mediante los cuales hemos llevado a cabo tanto la calibración, como el control del sensor de fuerza ADF70-1.

Tabla 8-1 Control teórico del voltaje en función de la posición del sensor ADF70-1

Vpos (V)	Vneg (v)	Vmed (V)	Posición
20,6	4	20,6	20
20,6	4	19,77	19
20,6	4	18,94	18
20,6	4	18,11	17
20,6	4	17,28	16
20,6	4	16,45	15
20,6	4	15,62	14
20,6	4	14,79	13
20,6	4	13,96	12
20,6	4	13,13	11
20,6	4	12,3	10
20,6	4	11,47	9
20,6	4	10,64	8
20,6	4	9,81	7
20,6	4	8,98	6
20,6	4	8,15	5
20,6	4	7,32	4
20,6	4	6,49	3
20,6	4	5,66	2
20,6	4	4,83	1
20,6	4	4	0

Tabla 8-2 Datos Señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1 (POSN)

	Posición (mm)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)
Reposo	0	9,6	9,7	10,1	10,3	9,8	10,5	10,41	9,01	9,06	9,04
	-1	9,6	9,7	10,2	10,3	9,8	10,5	10,42	9,01	9,06	9,04
	-2	9,6	9,7	10,2	10,3	9,8	10,5	10,52	9,14	9,06	9,12
	-3	9,8	9,9	10,4	10,4	10,0/1	10,7	10,74	9,28	9,2	9,32
	-4	10,1	10,1/2	10,6	10,7	10,2/3	10,9	11,01	9,5	9,45	9,52
	-5	10,4	10,4/5	10,8	10,9	10,5	11,1/2	11,3	9,74	9,64	9,8
	-6	10,6	10,7	11,2	11,3	10,8	11,5	11,65	10,03	9,92	10,04
	-7	10,9	11	11,5	11,6	11,1	11,8	11,94	10,32	10,14	10,34
	-8	11,2	11,3	11,7	11,9	11,4	12,1	12,32	10,66	10,48	10,66
	-9	11,6	11,7	12,1	12,2/3	11,8	12,5	12,66	10,99	10,86	11,06
Mitad	-10	12	12,1	12,5	12,7	12,1/2	12,9	13,14	11,33	11,23	11,41
	-11	12,4	12,6	13	13,1	12,6/7	13,3	13,59	11,66	11,5	11,79
	-12	12,8	13	13,4	13,5	13,1	13,8	14,14	12,16	11,93	12,24
	-13	13,4	13,5	13,9	14	13,6	14,3/4	14,54	12,52	12,29	12,59
	-14	13,7	13,9	14,4	14,6	14,1	14,9	15,15	12,96	12,71	13,05
	-15	14,3	14,4	14,9	15	14,6	15,4	15,81	13,35	13,28	13,59
	-16	14,9	15,1	15,6	15,8	15,2/3	16,1	16,51	14,07	13,81	14,17
	-17	15,4	15,7	16,3	16,3	15,8/9	16,6	16,99	14,63	14,34	14,61
	-18	16,2	16,3	16,9	17,0/1	16,4/5	17,4	17,8	15,24	14,84	15,34
	-19	16,9	17,1	17,6	17,8/9	17,2/3	18,1/2	18,62	15,9	15,5	15,99
Máxima	-20	17,8	17,9	18,4	18,6	18,0/1	18,8/9	19,57	16,7	16,31	16,71
	-21	18,3	18,7	19,4	19,6	19,0/1	20	20,6	17,57	17,29	17,75
	-22	19,3	19,6	20,2	20,3	19,9/20			17,94	18,01	18,24
	-23	19,6	20	20,5		20			18,17	18,29	18,25

Tabla 8-2 Datos Señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1 (POSN)

	Posición (mm)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)
Reposo	0	9,04	9,07	9,07	9	9,07	9,06	9,04	9,04	9,07	9,25
	-1	9,04	9,07	9,07	8,92	9,07	9,06	9,05	9,06	9,07	9,25
	-2	9,12	9,05	9,15	9,15	9,21	9,15	9,07	9,08	9,08	9,26
	-3	9,32	9,21	9,35	9,37	9,36	9,37	9,25	9,24	9,24	9,3
	-4	9,52	9,44	9,55	9,62	9,56	9,56	9,48	9,48	9,47	9,53
	-5	9,8	9,67	9,83	9,93	9,82	9,83	9,73	9,72	9,7	9,73
	-6	10,04	9,98	10,11	10,1	10,09	10,12	9,99	10,08	10,06	10,03
	-7	10,34	10,22	10,31	10,4	10,36	10,36	10,29	10,28	10,3	10,29
	-8	10,66	10,49	10,7	10,83	10,74	10,72	10,53	10,54	10,5	10,57
	-9	11,06	10,86	11,03	11,14	11,12	11,09	10,83	10,89	10,88	10,85
Mitad	-10	11,41	11,19	11,38	11,45	11,49	11,43	11,24	11,23	11,23	11,25
	-11	11,79	11,58	11,8	11,91	11,85	11,82	11,59	11,61	11,63	11,67
	-12	12,24	12,02	12,18	12,28	12,28	12,29	12,1	12,03	12,06	12,06
	-13	12,59	12,43	12,65	12,75	12,77	12,67	12,5	12,53	12,53	12,38
	-14	13,05	12,89	13,13	13,28	13,13	13,17	12,89	12,94	12,85	12,86
	-15	13,59	13,23	13,65	13,68	13,72	13,54	13,42	13,38	13,35	13,3
	-16	14,17	13,92	14,27	14,29	14,27	14,07	13,87	13,86	13,94	13,83
	-17	14,61	14,44	14,68	14,9	14,88	14,8	14,54	14,57	14,55	14,34
	-18	15,34	15,05	15,41	15,45	15,47	15,44	15,16	15,16	15,2	14,97
	-19	15,99	15,65	16,06	16,23	16,32	16,09	15,81	15,82	15,77	15,53
Máxima	-20	16,71	16,39	16,88	17,12	17,06	17,04	16,65	16,59	16,6	16,31
	-21	17,75	17,38	17,8	17,81	17,83	17,79	17,44	17,49	17,48	17,05
	-22	18,24	18,12	18,02	18,05	18,08	18,1	18,01	18,06	18,1	17,52
	-23	18,25	18,36	18,48	18,5	18,52	18,45	18,34	18,41	18,37	18,76

Tabla 8-2 Datos Señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1 (POSN)

	Posición (mm)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)
Reposo	0	9,01	9,06	9,04	9,07	9,07	9	9,07	9,06	9,04	9,04
	-1	9,01	9,06	9,04	9,07	9,07	8,92	9,07	9,06	9,05	9,06
	-2	9,14	9,06	9,12	9,05	9,15	9,15	9,21	9,15	9,07	9,08
	-3	9,28	9,2	9,32	9,21	9,35	9,37	9,36	9,37	9,25	9,24
	-4	9,5	9,45	9,52	9,44	9,55	9,62	9,56	9,56	9,48	9,48
	-5	9,74	9,64	9,8	9,67	9,83	9,93	9,82	9,83	9,73	9,72
	-6	10,03	9,92	10,04	9,98	10,11	10,1	10,09	10,12	9,99	10,08
	-7	10,32	10,14	10,34	10,22	10,31	10,4	10,36	10,36	10,29	10,28
	-8	10,66	10,48	10,66	10,49	10,7	10,83	10,74	10,72	10,53	10,54
	-9	10,99	10,86	11,06	10,86	11,03	11,14	11,12	11,09	10,83	10,89
Mitad	-10	11,33	11,23	11,41	11,19	11,38	11,45	11,49	11,43	11,24	11,23
	-11	11,66	11,5	11,79	11,58	11,8	11,91	11,85	11,82	11,59	11,61
	-12	12,16	11,93	12,24	12,02	12,18	12,28	12,28	12,29	12,1	12,03
	-13	12,52	12,29	12,59	12,43	12,65	12,75	12,77	12,67	12,5	12,53
	-14	12,96	12,71	13,05	12,89	13,13	13,28	13,13	13,17	12,89	12,94
	-15	13,35	13,28	13,59	13,23	13,65	13,68	13,72	13,54	13,42	13,38
	-16	14,07	13,81	14,17	13,92	14,27	14,29	14,27	14,07	13,87	13,86
	-17	14,63	14,34	14,61	14,44	14,68	14,9	14,88	14,8	14,54	14,57
	-18	15,24	14,84	15,34	15,05	15,41	15,45	15,47	15,44	15,16	15,16
	-19	15,9	15,5	15,99	15,65	16,06	16,23	16,32	16,09	15,81	15,82
Máxima	-20	16,7	16,31	16,71	16,39	16,88	17,12	17,06	17,04	16,65	16,59
	-21	17,57	17,29	17,75	17,38	17,8	17,81	17,83	17,79	17,44	17,49
	-22	17,94	18,01	18,24	18,12	18,02	18,05	18,08	18,1	18,01	18,06
	-23	18,17	18,29	18,25	18,36	18,48	18,5	18,52	18,45	18,34	18,41

Tabla 8-2 Datos Señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1 (POSN)

	Posición (mm)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)	Intensidad (mA)
Reposo	0	9,04	9,07	9,03	9,08	9,08	9,09	9,09	9,09	9,09	9,08
	-1	9,06	9,07	9,04	9,08	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,08
	-2	9,08	9,08	9,06	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,08
	-3	9,24	9,24	9,22	9,26	9,27	9,29	9,28	9,27	9,27	9,27
	-4	9,48	9,47	9,46	9,45	9,44	9,45	9,44	9,45	9,46	9,47
	-5	9,72	9,7	9,66	9,7	9,7	9,68	9,68	9,68	9,69	9,69
	-6	10,08	10,06	9,96	9,95	9,98	9,95	9,95	9,95	9,95	9,98
	-7	10,28	10,3	10,26	10,24	10,26	10,25	10,25	10,26	10,26	10,27
	-8	10,54	10,5	10,54	10,5	10,5	10,49	10,48	10,48	10,48	10,55
	-9	10,89	10,88	10,9	10,83	10,82	10,82	10,83	10,82	10,82	10,88
Mitad	-10	11,23	11,23	11,18	11,18	11,21	11,2	11,2	11,2	11,21	11,23
	-11	11,61	11,63	11,58	11,63	11,65	11,62	11,65	11,62	11,64	11,54
	-12	12,03	12,06	12,01	12,05	12,07	12,01	12	11,97	11,95	12,06
	-13	12,53	12,53	12,48	12,38	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,44
	-14	12,94	12,85	12,89	12,94	12,95	12,91	12,9	12,9	12,92	12,87
	-15	13,38	13,35	13,27	13,34	13,33	13,31	13,32	13,33	13,35	13,29
	-16	13,86	13,94	13,92	13,88	13,88	13,86	13,87	13,88	13,9	13,98
	-17	14,57	14,55	14,48	14,44	14,45	14,44	14,45	14,45	14,46	14,43
	-18	15,16	15,2	15,08	15,05	15,06	15,06	15,06	15,06	15,08	15,06
	-19	15,82	15,77	15,75	15,81	15,84	15,84	15,83	15,83	15,82	15,71
Máxima	-20	16,59	16,6	16,36	16,53	16,56	16,53	16,48	16,53	16,52	16,46
	-21	17,49	17,48	17,38	17,37	17,36	17,32	17,35	17,36	17,34	17,34
	-22	18,06	18,1	18,11	18,11	18,12	18,12	18,11	18,12	18,08	18,16
	-23	18,41	18,37	18,36	18,42	18,43	18,44	18,43	18,43	18,43	18,42

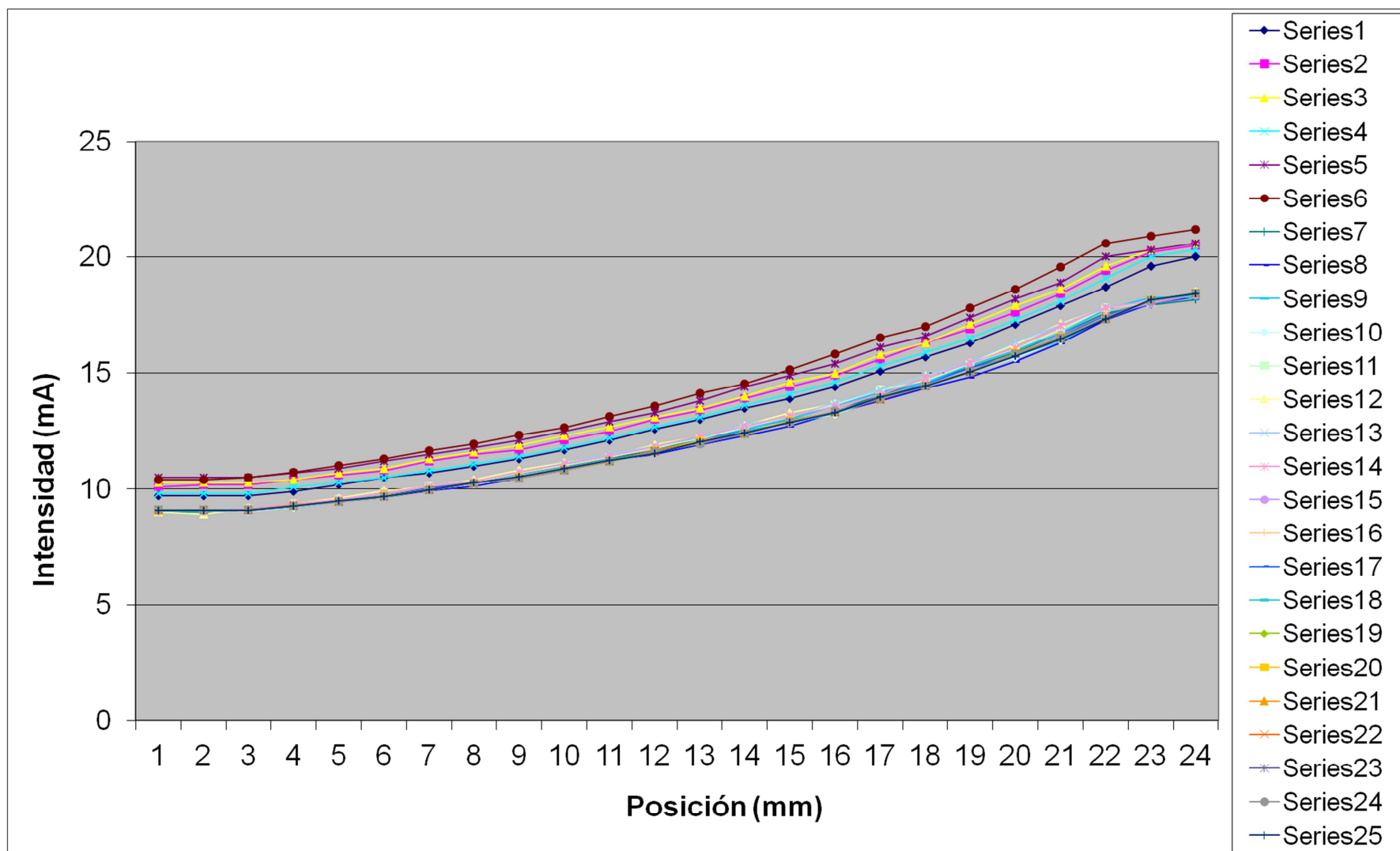


Figura 8-1 Evolución de la Señal de salida del sensor de fuerza AFD70-1 (POSN), en función de la posición

Tabla 8-3 Datos Teóricos (POSN) y salida del conversor A/D (10 Bits)

TEORICO	b16	b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9						
	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	Binario	Decimal	Intensidad	
En Reposo	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	100111100	316	9,06	
-1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	100111100	316	9,0585	
-2	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	100111111	319	9,099	
-3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	101001001	329	9,268	
-4	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	101010110	342	9,4645	
-5	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	101100101	357	9,6965	
-6	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	101110110	374	9,9615	
-7	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	110000110	390	10,2205	
-8	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	110011000	408	10,4955	
-9	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	110101101	429	10,8255	
Mitad	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	111000011	451	11,163	
-11	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	111011011	475	11,5355	
-12	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	111110100	500	11,9365	
-13	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1000001110	526	12,3285	
-14	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1000101010	554	12,766	
-15	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1001000101	581	13,1885	
-16	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1001101000	616	13,7375	
-17	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1010001011	651	14,279	
-18	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1010110000	688	14,8655	
-19	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1011011011	731	15,5305	
A Tope	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1100001001	777	16,253	
-21	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1100111110	830	17,0745	
-22	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1101100010	866	17,635	
-23	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1101110100	884	17,927	

Tabla 8-4 Datos Teóricos variación POSN por posición media

	Media	Posición	Sin redondear	entero	binario/decimal
	-				
En Reposo	0,0015	-1	-0,10	0	316
-1	0,0405	-2	2,60	3	319
-2	0,169	-3	10,83	11	329
-3	0,1965	-4	12,60	13	342
-4	0,232	-5	14,87	15	357
-5	0,265	-6	16,99	17	374
-6	0,259	-7	16,60	17	390
-7	0,275	-8	17,63	18	408
-8	0,33	-9	21,15	21	429
-9	0,3375	-10	21,63	22	451
Mitad	0,3725	-11	23,88	24	475
-11	0,401	-12	25,71	26	500
-12	0,392	-13	25,13	25	526
-13	0,4375	-14	28,04	28	554
-14	0,4225	-15	27,08	27	581
-15	0,549	-16	35,19	35	616
-16	0,5415	-17	34,71	35	651
-17	0,5865	-18	37,60	38	688
-18	0,665	-19	42,63	43	731
-19	0,7225	-20	46,31	46	777
A Tope	0,8215	-21	52,66	53	830
-21	0,5605	-22	35,93	36	866
-22	0,292	-23	18,72	19	884

Tabla 8-5 Datos Real (POSN) y salida del conversor A/D (10 Bits)

									Sin			
									Conectar		Decimal	Intensidad
Real	b16	b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7		
En Reposo	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	312	9,01
-1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	318	9,11
-2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	332	9,32
-3	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	336	9,42
-4	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	352	9,64
-5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	364	9,87
-6	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	388	10,19
-7	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	400	10,42
-8	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	420	10,73
-9	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	444	11,11
Mitad	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	468	11,45
-11	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	492	11,86
-12	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	524	12,32
-13	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	544	12,65
-14	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	576	13,13
-15	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	604	13,59
-16	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	644	14,23
-17	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	676	14,75
-18	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	724	15,49
-19	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	764	16,11
A Tope	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	808	16,8
-21	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	856	17,53

Tabla 8-6 Datos Real (POSN) y salida del conversor A/D (8 Bits)


Real	b16	b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	Decimal	Intensidad
En Reposo	0	1	0	0	1	1	1	1	79	9,11
-1	0	1	0	0	1	1	1	0	78	9,01
-2	0	1	0	1	0	0	1	1	83	9,32
-3	0	1	0	1	0	1	0	0	84	9,42
-4	0	1	0	1	1	0	0	0	88	9,64
-5	0	1	0	1	1	0	1	1	91	9,87
-6	0	1	1	0	0	0	0	1	97	10,19
-7	0	1	1	0	0	1	0	0	100	10,42
-8	0	1	1	0	1	0	0	1	105	10,73
-9	0	1	1	0	1	1	1	1	111	11,11
Mitad	0	1	1	1	0	1	0	1	117	11,45
-11	0	1	1	1	1	0	1	1	123	11,86
-12	1	0	0	0	0	0	1	1	131	12,32
-13	1	0	0	0	1	0	0	0	136	12,65
-14	1	0	0	1	0	0	0	0	144	13,13
-15	1	0	0	1	0	1	1	1	151	13,59
-16	1	0	1	0	0	0	0	1	161	14,23
-17	1	0	1	0	1	0	0	1	169	14,75
-18	1	0	1	1	0	1	0	1	181	15,49
-19	1	0	1	1	1	1	1	1	191	16,11
A Tope	1	1	0	0	1	0	1	0	202	16,8
-21	1	1	0	1	0	1	1	0	214	17,53

Tabla 8-6 Datos Real (POSN) y salida del conversor A/D (8 Bits)

Real	b16	b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	Decimal	Intensidad
En Reposo	0	1	0	1	0	0	0	0	80	9,14
-1	0	1	0	0	1	1	1	1	79	9,08
-2	0	1	0	1	0	0	1	0	82	9,24
-3	0	1	0	1	0	1	0	1	85	9,46
-4	0	1	0	1	1	0	0	0	88	9,66
-5	0	1	0	1	1	1	0	0	92	9,88
-6	0	1	1	0	0	0	0	1	97	10,2
-7	0	1	1	0	0	1	0	0	100	10,42
-8	0	1	1	0	1	0	0	1	105	10,71
-9	0	1	1	1	0	0	0	0	112	11,15
Mitad	0	1	1	1	0	1	1	0	118	11,5
-11	0	1	1	1	1	0	1	1	123	11,87
-12	1	0	0	0	0	0	1	1	131	12,34
-13	1	0	0	0	1	0	0	0	136	12,67
-14	1	0	0	1	0	0	0	1	145	13,2
-15	1	0	0	1	0	1	1	1	151	13,59
-16	1	0	1	0	0	0	0	1	161	14,23
-17	1	0	1	0	1	0	1	0	170	14,78
-18	1	0	1	1	0	1	0	1	181	15,48
-19	1	1	0	0	0	0	0	0	192	16,19
A Tope	1	1	0	0	1	0	0	0	200	16,68
-21	1	1	0	1	1	0	1	0	218	17,79

8.4. Hojas de características de los componentes.

The heart
of Robotics




IRB 2400

Industrial Robot

MAIN APPLICATIONS

Arc welding
Cutting/Deburring
Gluing/Sealing
Grinding/Polishing
Machine tending
Material handling



Most popular industrial robot

IRB 2400 is the world's most popular industrial robot in its class. It comprises a complete family of application optimized robots that maximize the efficiency of your arc welding, process and tending applications.

The IRB 2400 is a real hard worker. It can take additionally 35 kg load on axis 1 and 15 kg additional load on the upper arm - still keeping 100 % duty cycle.

The IRB 2400L model has 1.8 meters reach, 7 kg load capacity, large working range and slim arm and wrist. Other models offer handling capacity of up to 20 kg, excellent motion

control, large load offset and unlimited motion in axis 6. This means there's an IRB 2400 robot to give you excellent performance in your material handling, tending and process applications. All models offer you inverted mounting capability.

The compact design of the IRB 2400 ensures ease of installation. The robust construction and use of minimum parts contribute to high reliability and long intervals between maintenance.

The Foundry Plus version is washable with high pressure steam and it's supplied with increased environment protection meeting IP 67 standard.



IRB 2400

Industrial Robot

TECHNICAL DATA, IRB 2400 INDUSTRIAL ROBOT

SPECIFICATIONS

Robot version	Handling capacity	Reach	Protection
IRB 2400L	7 kg	1.8 m	Foundry, Clean room
IRB 2400-10	12 kg	1.5 m	FoundryPlus, Clean room
IRB 2400-16	20 kg	1.5 m	FoundryPlus, Clean room

Mounting	Floor and inverted all versions, Wall IRB 2400-10		
Supplementary load	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Upper arm,			
-wrist end	1 kg	2 kg	2 kg
-rear end	10 kg	10 kg	10 kg
Base unit	35 kg	35 kg	35 kg

Number of axes	6
Robot manipulator	6
External devices	6

Integrated signal supply	23 poles, 50 V DC 10 poles, 250 V AC
--------------------------	---

Integrated air supply	Max. 8 bar
-----------------------	------------

PERFORMANCE

Positional repeatability	0.06 mm (average result from ISO test)
--------------------------	--

Axis movements	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Working range			
Positioning			
Axis 1, Rotation	360°	360°	360°
Axis 2, Arm	200°	200°	200°
Axis 3, Arm	125°	125°	125°
Re-orientation			
Axis 4, Wrist	370°	400°	400°
Axis 4, Option	=	Unlimited	Unlimited
Axis 5, Bend	240°	240°	240°
Axis 6, Rotation	800°	800°	800°
Axis 6, Option	Unlimited	Unlimited	Unlimited

Axis movements	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Max. speed			
Positioning			
Axis 1, Rotation	150°/s	150°/s	150°/s
		90° **	
Axis 2, Arm	150°/s	150°/s	150°/s
		90° **	
Axis 3, Arm	150°/s	150°/s	150°/s
		90° **	
Re-orientation			
Axis 4, Wrist	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 5, Bend	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 6, Rotation	450°/s	450°/s	450°/s

**For wall mounted version

ELECTRICAL CONNECTIONS

Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz
Rated power, supply transformer	4 kVA/7.8 kVA with external axes

PHYSICAL

	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Dimensions			
Total height	1,731 mm	1,564 mm	1,564 mm
Manipulator bases	723x600 mm	723x600 mm	723x600 mm
Weight			
Robot	380 kg	380 kg	380 kg

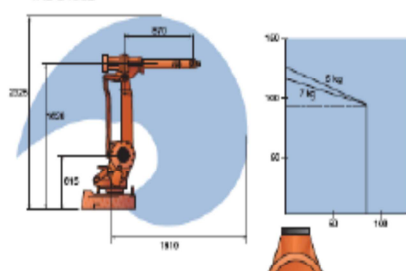
ENVIRONMENT

Ambient temperature			
Basic manipulator			
in operation	5°C - 45°C		
Relative humidity	Max. 95%		
Degree of protection	IRB 2400L	IRB 2400-10	IRB 2400-16
Standard and Clean Room versions	IP54	IP54	IP54
Foundry or Foundry Plus versions	IP65/67	IP67	IP67
Clean Room	US Federal Standard 208, class 100		
Noise level	Max. 70 dB (A)		
Emission	EMC/EMI shielded		

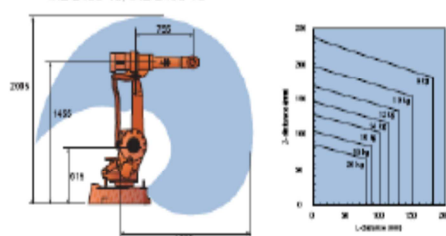
DATA AND DIMENSIONS MAY BE CHANGED WITHOUT NOTICE

WORKING RANGE AND LOAD DIAGRAM

IRB 2400L



IRB 2400-10, IRB 2400-16



PUSHCORP, INC.

SM3002
High Speed Servo Motor

The SM3002 is a 2.0 horsepower (1.5 kW) High Speed Servo Motor that has been developed as an alternative to inefficient and high maintenance air motors. The unit uses a 30,000 rpm, water cooled, servo motor to produce exceptional performance in a compact and light weight package. The motor utilizes a manual "ER" Series collet that has the ability to clamp a very wide range of tool shaft diameters. With a manual collet operator intervention is required when the media needs to be replaced. For applications where the abrasive media or the tools have a long life the manual collet is the ideal solution. The SM3002 can be easily mounted in any orientation using the thru holes provided in the motor housing.

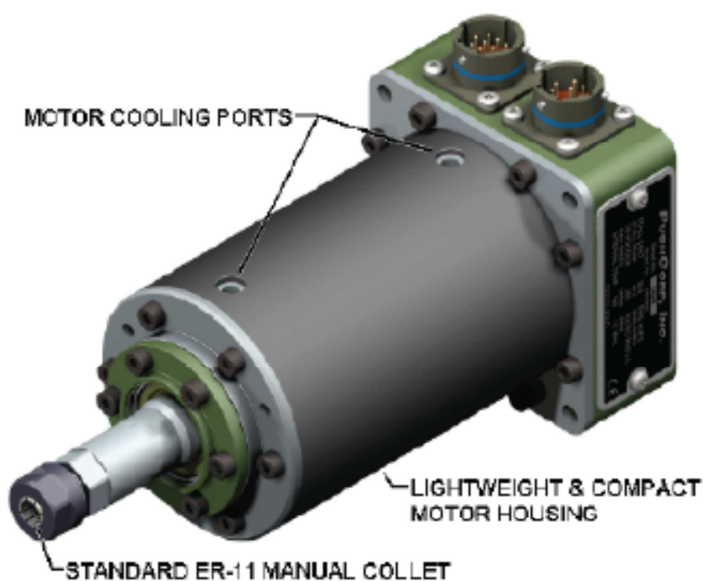


SM3002

For additional information download the [SM3002 Manual \(.pdf\)](#)

FEATURES

- 2.0 horsepower (1.5 kW) servo motor (Liquid Cooling Required)
- 30,000 maximum RPM (Reversible)
- Sealed ceramic bearings for high rotational speeds
- $\pm 5\%$ speed regulation
- Manual "ER" Series collet
- Collets available from 1/16 - 1/4 inch (0.5mm - 7 mm)
- **PushCorp** proprietary high-speed shaft seal
- All fittings, fasteners, and threaded holes are METRIC



TOOL SPECIFICATIONS:

Power: 2.0 hp (1.5 kW)*
Continuous Stall Torque: 1.22 lb.-ft. (1.7 N-m)*
Speed Range: 60-30000 RPM*
Speed Regulation: $\pm 5\%$ (Reversible)
Tool Weight: 6 lbs. (3 kg)
* Liquid Cooled

Requires power amplifier and cables.
Call for appropriate ordering information.

COLLET SPECIFICATIONS:

Standard ER-11 Collet

Specifications subject to change without notice.

SM3002 High Speed Servo Motor



PUSHCORP, INC.

AFD70 Series Passive Compliance Force Device

The PushCorp Passive AFD70 Series force device is a simple, low-cost compliant unit for many applications. Using a low friction cylinder and linear rail technology this device delivers up to 50 lb. (222 N) of force. The unit is equipped standard with an internal position sensor to monitor the location of the carriage. Fitted with a manual or electrically controlled pneumatic regulator, the AFD70 Series can make quick work of many force based applications.

The 70 Series can be equipped as either an AFD71 single acting with only positive force application, or an AFD72 double acting with positive and negative force capability. The unit may also be ordered in three different standard mounting configurations.



AFD70-3 Table Top

For additional information download the [AFD70 Manual \(pdf\)](#)

FEATURES

- Single or Double acting force application
- Carriage position sensor
- Integral cartridge air filter
- 50 lb. (222 N) Maximum applied force
- 0.8 in. (20 mm) Linear compliant stroke
- Low Cost
- User supplied pressure regulator
- Rigid, light weight mechanical design
- All fittings, fasteners, and threaded holes are METRIC



AFD70-3 TABLE TOP

SPECIFICATIONS:

Maximum Applied Force: 50 lb. (222 N)
Force Resolution: 0.7 lb./psi (45.2 N/bar)
Max. Payload Weight: 40 lb. (23 kg)
Weight: AFD70-1 - 17 lb (7.7 kg) (excluding payload)
AFD70-2 - 12 lb (5.5 kg) (excluding payload)
AFD70-3 - 12 lb (5.5 kg) (excluding payload)
Compliant Stroke: 0.8 in. (20mm)
Mounting flange: Standard or User specified hole pattern
Supply air: Dry, 5um Filtered, Non-lubricated, 80 psi (5.5 Bar) max.

Specifications subject to change without notice.



Analog Servo Drive

B30A40AC

Description	Power Range
<p>The B30A40AC PWM servo drive is designed to drive brushless DC motors at a high switching frequency. A single red/green LED indicates operating status. The drive is fully protected against over-voltage, under-voltage, over-current, over-heating and short-circuits across motor, ground and power leads. Furthermore, the drive can interface with digital controllers or be used stand-alone and requires only a single unregulated AC power supply. Loop gain, current limit, input gain and offset can be adjusted using 14-turn potentiometers. The offset adjusting potentiometer can also be used as an on-board input signal for testing purposes.</p>	Peak Current
	Continuous Current
	Supply Voltage
	30 A
	15 A
	45 - 270 VAC



Features

- ▲ Four Quadrant Regenerative Operation
- ▲ Adjustable Current Limits
- ▲ Selectable Inhibit/Enable Logic
- ▲ Built in Shunt Regulator Circuit
- ▲ External Shunt Resistor Terminals
- ▲ On-Board Test Potentiometer
- ▲ Offset Adjustment Potentiometer
- ▲ Selectable 120/60 Hall Commutation Phasing
- ▲ Hall Velocity Mode
- ▲ Encoder Velocity Mode
- ▲ Differential Encoder Feedback
- ▲ Directional Inhibit Inputs for Limit Switches

MODES OF OPERATION

- Current
- Open Loop
- Hall Velocity
- Encoder Velocity
- Tachometer Velocity
- External/Analog Velocity

COMMAND SOURCE

- ± 10 V Analog

FEEDBACK SUPPORTED

- Halls
- Incremental Encoder
- Tachometer
- ± 10 V Analog

COMPLIANCES & AGENCY APPROVALS

- UL
- cUL
- CE Class A (LVD)
- CE Class A (EMC)
- RoHS

Release Date:
3/24/2009

Revision:
0.00

Advanced Motion Controls • 3805 Calle Tecate, Camarillo, CA, 93012
ph# 805-389-1935 • fx# 805-389-1165 • www.a-m-c.com

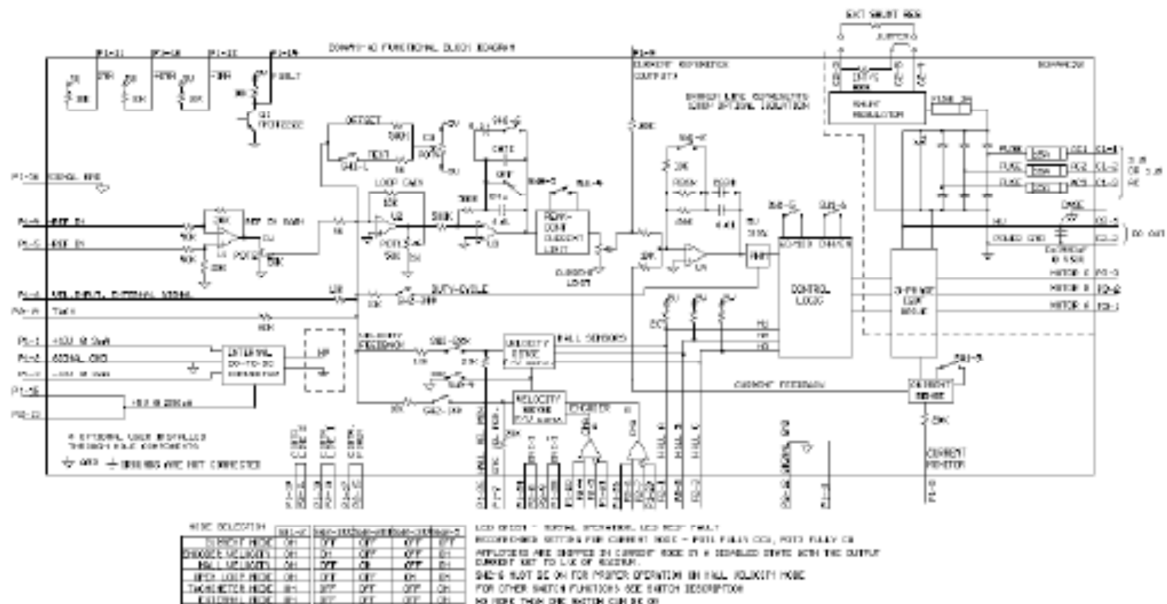
Page 1 of 11



Analog Servo Drive

B30A40AC

BLOCK DIAGRAM



Information on Approvals and Compliances*



US and Canadian safety compliance with UL 508c, the industrial standard for power conversion electronics. UL registered under file number E140173. Note that machine components compliant with UL are considered UL registered as opposed to UL listed as would be the case for commercial products.



Compliant with European CE for both the Class A EMC Directive 89/336/EEC on Electromagnetic Compatibility (specifically EN 61000-6-4:2001, EN 61000-6-2:2001, EN 61000-3-2:2000, and EN 61000-3-3:1995/A1:2001) and LVD requirements of directive 73/23/EEC (specifically EN 60204-1), a low voltage directive to protect users from electrical shock.



RoHS (Reduction of Hazardous Substances) is intended to prevent hazardous substances such as lead from being manufactured in electrical and electronic equipment.

*Approvals may be pending. See "Compliances & Agency Approvals" on page 1 of datasheet for currently held approvals.

Release Date:
3/24/2009

Revision:
0.00

Advanced Motion Controls • 3805 Calle Tecate, Camarillo, CA, 93012
ph# 805-389-1935 • fx# 805-389-1165 • www.a-m-c.com

Page 2 of 11



DESCRIPCIÓN

Convertidor digital de 12 bits en código binario, a una señal analógica de tensión o intensidad, con 4096 puntos de resolución.

Se presentan en configuración modular estrecha para encajarse en perfiles de rail DIN EN, con bornas enchufables por tornillo, de reducido espacio y consumo.

ENTRADA

- Entrada 12 bits optocopladas
- Transistor PNP o NPN (24V) y TTL

SALIDA 4 / 20 mA

- Resistencia de carga (*tensión*) min 1K Ohm
- Resistencia de carga (*corriente*) máx 600 Ohm
- Intensidad máx. de salida (*tensión*) 25 mA
- Intensidad máx. de salida (*corriente*) 10 mA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Resolución	12 bits < 0,025 %
- Temperatura de trabajo	-10° ... +55° C
- Tensión de alimentación	24 VDC (+/- 10%)
- Consumo máximo sin entradas	40 mA
- Absorción de corriente máxima por cada entrada digital	10 mA
- Protección contra cortocircuitos en la salida	
- Ajuste de OFFSET y SPAN exterior	

CUMPLIMIENTO NORMATIVAS

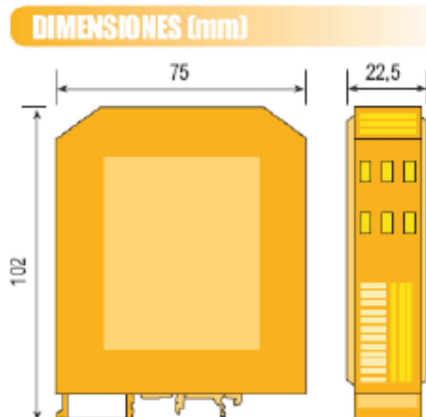
Compatibilidad electromagnética	Directiva	2004 / 108 / CE
Baja tensión para amb. industriales.	Directiva	73 / 23 / ECC
Emisiones electromagnéticas	Norma	UNE-EN 50081-2
Inmunidad electromagnética	Norma	UNE-EN 50082-2
Recogida selec. de aparatos elec.	Directiva	2002 / 96 / CE

CARACT. MECÁNICAS

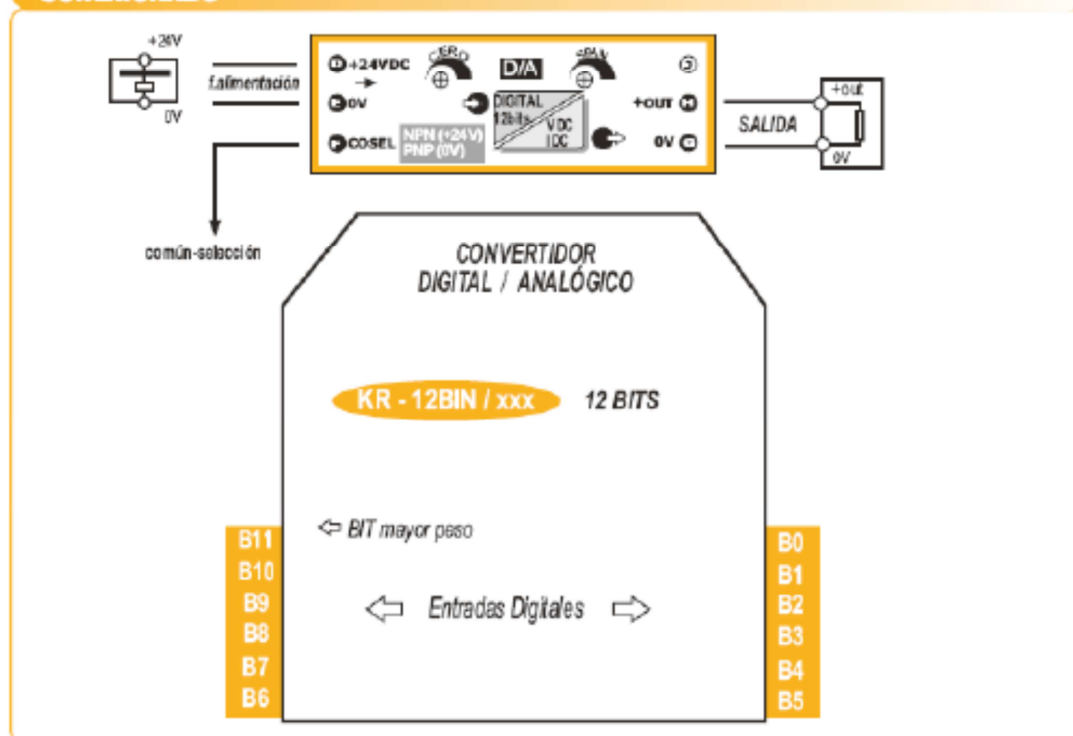
Protección:	IP 20
Cable conexión:	<2,5mm, 12 AWG
Caja:	Poliimida UL94. V2
Peso:	max. 105 gr.
Sujeción a rail:	EN 50035, EN 50022

MODELOS

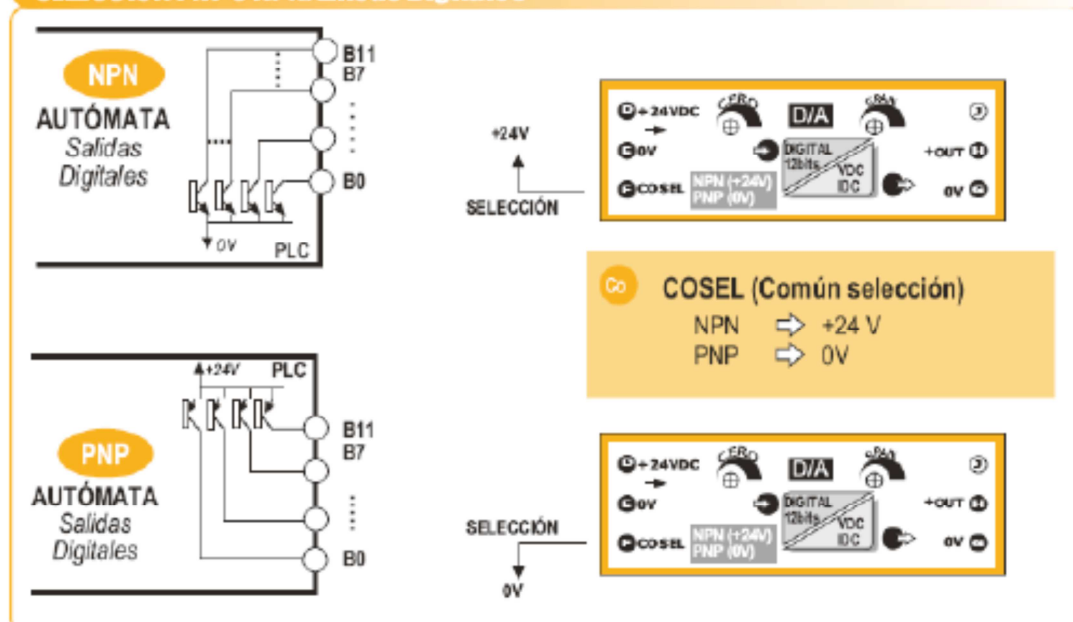
SALIDA	24VDC	230VAC
4 / 20mA	KR-12BIN/420	
0 / 20mA	KR-12BIN/020	
0 / 10V	KR-12BIN/010	



CONEXIONADO



SELECCIÓN PNP ó NPN. Líneas Digitales





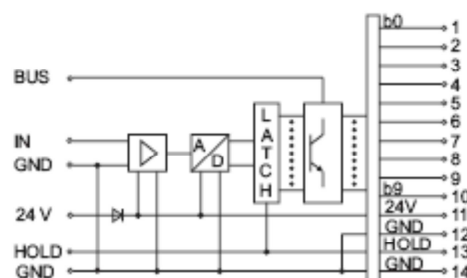
AUTOMATION

10 Bit A/D Converter in DIN-Rail-Mountable Enclosure

1/2

Input signal 4-20 mA

Data sheet



Description	Item-No.	Pack.-unit pcs
Input signal 4-20 mA	787-503	1
<ul style="list-style-type: none">LED status indication for BUS and HOLD signals.DIN-rail-mountable enclosure acc. to EN 50022.14-pole flat cable connector acc. to DIN 41651.	Technical Data	
<p>A/D converters are used for the conversion of standard analogue signals into digital signals, allowing digital computers or programmable logic controllers (PLCs) to process analogue signals using the digital inputs.</p> <p>Any number of A/D converters can be connected either to the digital BUS interface of the computer or to the digital inputs of the PLC. Specific converters can be individually selected with BUS and HOLD signals for data reception.</p> <p>The BUS input is used to select one of the A/D converters which are connected in parallel. Synchronous data reception is possible via HOLD signal controlling. Without HOLD signal controlling, the A/D converter is in the free-running mode.</p>		
Input:		
Input signal	4-20 mA	
Max. input signal	100 mA	
Input resistance	<50 Ω	
Resolution (1 LSB)	15.6 µA	
Sampling rate (free-running mode)	1 kHz	
Control signals (BUS, HOLD)		
Input level 1-signal "H"	DC 20-30 V	
0-signal "L"	<5 V or open connection	
Output:		
Output signal	10 bits	
Output level 1-signal "H"	U _B - 3 V	
0-signal "L"	Open output	
Max. output current	20 mA / bit	
General data:		
Supply voltage U _B	DC 24 V	
Supply voltage range	U _B ±10 %	
Current consumption	75 mA	
Protective measure	Suppressor diode	
Transmission error	±1 LSB	
Ambient operating temperature	0 °C...+55 °C	
Storage temperature	-40 °C...+80 °C	
Dimensions (WxHxD)	(22,5x105"x74) mm (0.89x4.13"x2.91) in	
	* from upper edge of DIN 35 rail	
Wire connection	CAGE CLAMP® (WAGO series 257)	
	0.08-2.5 mm² / AWG 28-12	
Stripped length	5-6 mm / 0.22 in	
BUS interface	Flat cable connector	
	14-pole acc. to DIN 41651	

WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG Postfach 2880 • D-32385 Minden
Hansastr. 27 • D-32423 Minden

Tel.: 05 71 / 8 87-0 E-Mail: info@wago.com
Fax.: 05 71 / 8 87-169 Web: http://www.wago.com

Subject to design changes
14.06.2007 / d550300e.doc



10 Bit A/D Converter in DIN-Rail-Mountable Enclosure

2/2

Input signal 4-20 mA

Data sheet

IN Analog-input

0-10V Item-No. 787-501

0-20mA Item-No. 787-502

4-20mA Item-No. 787-503

B BUS input

A high level triggers the digitally converted data word to the data BUS.

A low level inactivates the BUS drivers, thus allowing another parallel connected A/D converters to transmit data to the data BUS. The internal conversion of the signal is being continued!

H HOLD input

A high level allows storage of the currently converted value of the A/D converter.

A low level deactivates the storage function of the device, thus allowing the pending analogue values to be continually converted and to be available on the data BUS.

b0...b9 Data BUS

The digital outputs are used to trigger the PLC or the computer system via the flat cable connector.

Us Voltage supply

A 24V input voltage supplies the A/D converter.

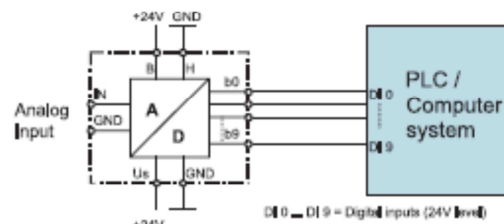


Fig. 1 Individual mode with continuous conversion

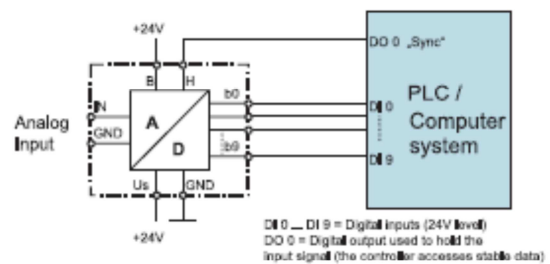


Fig. 2 Individual mode with "HOLD control"

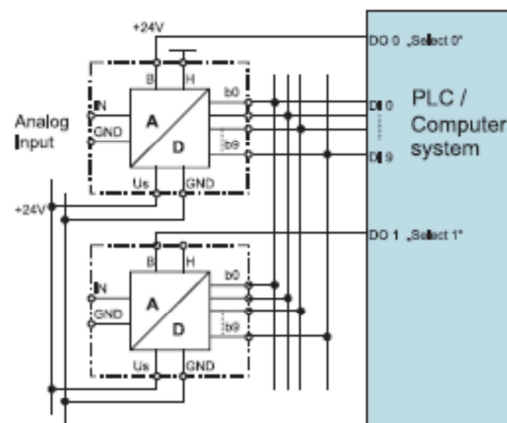


Fig. 3 BUS operation with continuous conversion

